

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**Departamento de Ingeniería Química**



**SIMULACIÓN DE RIESGOS DE  
CONTAMINACIÓN QUÍMICA Y RADIOQUÍMICA  
MEDIANTE EL EMPLEO DE SISTEMAS  
INFORMÁTICOS: APLICACIÓN AL ESTUDIO  
HIDROLÓGICO DE LA CENTRAL NUCLEAR  
JOSÉ CABRERA.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR**

**Adrián Gonzalvo Lorente**

Bajo la dirección de los doctores

Baldomero López Pérez  
Fernando Miranda Coronel

**Madrid, 2011**

**ISBN: 978-84-694-2883-2**

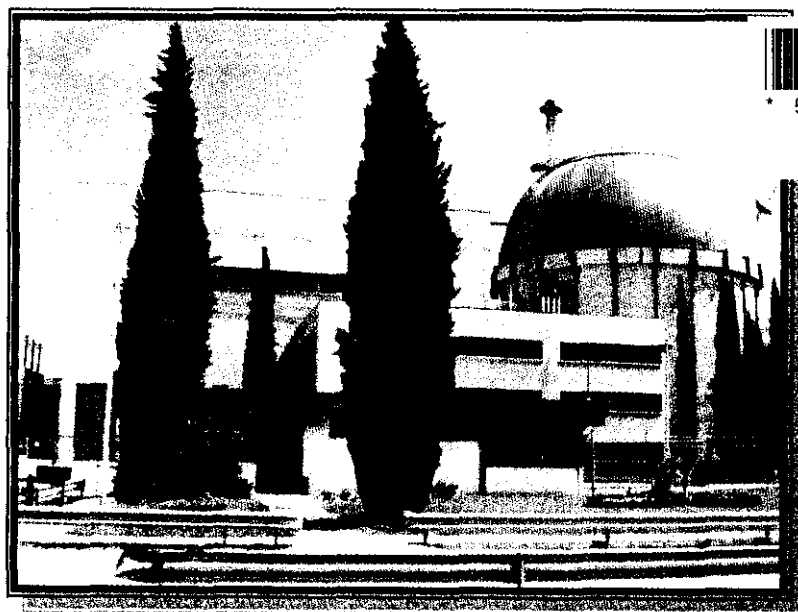
© Adrián Gonzalvo Lorente, 1999

74-204  
2

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**

**SIMULACION DE RIESGOS DE CONTAMINACION  
QUIMICA Y RADIOQUIMICA MEDIANTE EL  
EMPLEO DE SISTEMAS INFORMATICOS:**

**APLICACION AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR  
JOSE CABRERA**



53-351789-6

**MEMORIA**  
**que para optar al grado de Doctor en Ciencias Químicas**  
**presenta**

**Adrián Gonzalvo Lorente**  
**Madrid, 1999**



*La presente tesis ha sido realizada bajo la dirección de los profesores, Ilmo. Sr. D. Baldomero López Pérez y D. Fernando Mirada Coronel, a quienes deseo expresar mi más profundo y sincero agradecimiento.*

*Quede así mismo constancia de mi gratitud, a la empresa UNION FENOSA, por permitirme utilizar los datos obtenidos en el estudio hidrológico de su Central Nuclear José Cabrera.*

# **SIMULACION DE RIESGOS DE CONTAMINACION QUIMICA Y RADIOQUIMICA MEDIANTE EL EMPLEO DE SISTEMAS INFORMATICOS**

## **APLICACION AL ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA**

### **I N D I C E**

	<i><b><u>Página</u></b></i>
<b><u>RESUMEN</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</u></b> .....	<b>9</b>
<b><u>CAPITULO II: PARTE EXPOSITIVA.</u></b>	
1. DESCRICION GENERAL DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA.....	<b>13</b>
2. POTENCIALES CONTAMINANTES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS. ....	<b>17</b>
2.1. RADIATIVOS.	
2.1.1. Productos de Fisión.	
2.1.2. Productos de Activación.	
2.1.3. Productos de Transmutación.	
2.2. CONVENCIONALES.	
3. GEOLOGIA DE LA ZONA DEL EMPLAZAMIENTO DE C.N. JOSÉ CABRERA.....	<b>25</b>



3.1.	MARCO GEOLOGICO.	
3.2.	ESTRATIGRAFIA.	
3.2.1.	Cretácico.	
3.2.2.	Terciario.	
3.2.3.	Cuaternario.	
3.3.	TECTONICA.	
3.4.	HIDROLOGIA.	
3.4.1.	Hidrología superficial.	
3.4.2.	Hidrología subterránea.	
4.	<b>CLIMATOLOGIA. ....</b>	<b>44</b>
4.1.	PRECIPITACIONES.	
4.2.	TEMPERATURA.	
5.	<b>MODELIZACION DEL FLUJO Y TRANSPORTE. ....</b>	<b>48</b>
5.1.	OBJETIVOS DE LA MODELIZACION.	
5.2.	TIPOS DE MODELO.	
5.3.	MODELIZACION DEL FLUJO.	
5.3.1.	Características de las aguas subterráneas.	
5.3.2.	Formulación del problema del flujo.	
5.4.	MODELIZACION DEL TRANSPORTE.	
5.4.1.	Transporte de sustancias miscibles.	
5.4.2.	Mecanismos de transporte de sustancias conservativas.	
5.4.3.	Ecuación del transporte.	
5.4.4.	Condiciones iniciales y de contorno de la ecuación de transporte.	
6.	<b>SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICA. ....</b>	<b>65</b>
6.1.	COMPONENTES DE UN GIS.	
6.1.1.	Base de datos temático y espacial.	
6.1.2.	Sistema de representación cartográfico.	

- 6.1.3. Sistema de digitalización de mapas.
- 6.1.4. Sistema de gestión de base de datos.
- 6.1.5. Sistema de análisis espacial.
- 6.1.6. Sistema de tratamiento digital de imágenes.
- 6.1.7. Sistema de análisis estadístico.
- 6.1.8. Sistema de toma de decisiones.
- 6.2. REPRESENTACION DE DATOS ESPACIALES.
  - 6.2.1. Vectorial.
  - 6.2.2. Raster.
  - 6.2.3. Raster frente a vectorial.
- 6.3. CONCEPTOS DE BASES DE DATOS ESPACIALES.
  - 6.3.1. Organización.
  - 6.3.2. Georreferenciación.
- 6.4. ANALISIS DE UN GIS.
  - 6.4.1. Herramientas de análisis.
  - 6.4.2. Operaciones analíticas.
- 6.5. DESARROLLO DEL GIS.
  - 6.5.1. Idrisi.
  - 6.5.2. Arc View.
- 6.6. PROYECTOS.
  - 6.6.1. Proyecto Geología.
  - 6.6.2. Proyecto Cartopo.
  - 6.6.3. Proyecto CNJC 1000.

### **CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL.**

1.	OBJETIVOS .....	99
2.	ESTUDIO GEOLOGICO DE DETALLE. ....	100

2.1.	NIVEL ANTROPICO.	
2.2.	CUATERNARIO.	
2.3.	TERCIARIO.	
3.	<b>HIDROLOGIA EN EL AREA DE LA CENTRAL.....</b>	<b>116</b>
3.1.	HIDROLOGIA SUPERFICIAL.	
3.2.	BALANCE HIDROMETEOROLOGICO.	
3.3.	CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LA TERRAZA ALUVIAL SOBRE LA QUE SE ENCUENTRA LA CENTRAL.	
3.4.	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES CUATERNARIOS QUE CUBREN LA LADERA.	
3.5.	CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL Terciario.	
3.6.	RESUMEN DE LOS PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS.	
4.	<b>INVESTIGACION GEOFISICA. ....</b>	<b>126</b>
4.1.	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.	
4.2.	TRABAJO REALIZADO.	
4.2.1.	Metodología.	
4.2.2.	Toma de datos.	
4.2.3.	Medio materiales.	
4.3.	PROCESADO E INTERPRETACION DE LOS REGISTROS.	
4.3.1.	Análisis cualitativo de los resultados.	
4.3.2.	Presentación de resultados.	
4.4.	RESUMEN.	
5.	<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE INTERES HIDROGEOLOGICO Y USOS DEL AGUA.....</b>	<b>142</b>
6.	<b>SONDEOS: TESTIFICACION GEOFISICA.....</b>	<b>146</b>
6.1.	CONSTRUCCION.	
6.2.	TESTIFICACION.	

6.3.	POZOS DEL PALEOCAUCE.	
6.3.1.	Pozo PP1.	
6.3.2.	Pozo PP2.	
7.	<b>ENSAYOS DE BOMBEO.</b>	<b>157</b>
7.1.	EQUIPO EMPLEADO.	
7.2.	METODOLOGIA.	
7.3.	DESARROLLO DE LOS ENSAYOS.	
7.3.1.	Prueba en el Pozo PQ5.	
7.3.2.	Prueba en el Pozo PQ12.	
7.4.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS.	
7.5.	PARAMETROS OBTENIDOS.	
8.	<b>ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN EL Terciario.</b>	<b>159</b>
8.1.	DESCRIPCION DE LOS SONDEOS ENSAYADOS.	
8.2.	EQUIPOS E INSTRUMENTACION EMPLEADOS.	
8.3.	METODOLOGIA.	
8.3.1.	Interpretación.	
8.4.	RESULTADOS.	
8.4.1.	Sondeos PR1.	
8.4.2.	Sondeos PR2.	
8.4.3.	Sondeos PR3.	
8.5.	RESUMEN DE RESULTADOS.	
9.	<b>SEGUIMIENTO PIEZOMETRICO.</b>	<b>172</b>
10.	<b>ANALISIS DE SUELOS.</b>	<b>177</b>
11.	<b>ANALISIS QUIMICO Y RADIOQUIMICO DE LAS AGUAS.</b>	<b>179</b>
11.1.	DETERMINACIONES ANALITICAS.	
11.1.1.	Parámetros Físico-Químicos.	
11.1.2.	Parámetros Radioquímicos.	

11.2.	METODOS ANALITICOS.	
11.2.1.	Parámetros Físico-Químicos.	
11.2.2.	Parámetros Radioquímicos.	
11.3.	RESULTADOS.	
11.4.	ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS.	
12.	<b>MODELO CONCEPTUAL DEL ACUIFERO DE LA CNJC.</b>	<b>218</b>
12.1.	ZONA MODELIZADA.	
12.2.	MATERIALES ANALIZADOS SUSCEPTIBLES DE CONTENER AGUA.	
12.2.1.	Nivel Antrópico. Acuífero nº 1.	
12.2.2.	Cuaternario: Terraza Aluvial. Acuífero nº 2.	
12.2.3.	Cuaternario: Terraza Colgadas y Coluviales. Acuífero nº 3.	
12.2.4.	Terciario. Acuífero nº 4.	
12.3.	BALANCE HIDRICO DETALLADO DEL PERIODO DE CONTROL.	
13.	<b>MODELIZACION MATEMATICA.</b>	<b>251</b>
13.1.	OBJETIVOS.	
13.2.	BASES DE PARTIDA.	
13.3.	METODOLOGIA DE TRABAJO.	
13.3.1.	Definición de parámetros del modelo. Conexión con el GIS.	
13.3.2.	Metodología.	
13.3.3.	Sistemas de Información Geográfica (GIS).	
13.4.	PARAMETROS UTILIZADOS DEL MODELO CONCEPTUAL.	
13.5.	ESTRUCTURA DEL MODELO.	
13.5.1.	Estructura espacial del mallado.	
13.5.2.	Dimensiones del mallado.	
13.5.3.	Delimitación de los acuíferos identificados.	
13.5.4.	Mallado y condiciones de contorno.	

13.6.	PROPIEDADES HIDROGEOLOGICAS.	
13.6.1.	Permeabilidad.	
13.6.2.	Transmisividad.	
13.6.3.	Porosidad.	
13.6.4.	Coeficiente de almacenamiento.	
13.6.5.	Permeabilidad vertical o factor de goteo.	
13.7.	CONDICIONES INICIALES.	
13.8.	PERIODOS DE TIEMPO.	
13.9.	RECARGAS.	
13.10.	CALIBRACION DEL MODELO.	
13.10.1.	Niveles reales.	
13.10.2.	Niveles calculados con el modelo matemático.	
13.11.	EXPLOTACION DEL MODELO: ANALISIS DE ESCENARIOS.	
13.11.1.	Modelo definitivo.	
13.11.2.	Análisis de escenarios.	
13.12.	MODELO DE TRANSPORTE.	
14.	<b>ALGORITMO DEL CODIGO DE CONEXIÓN MODFLOW-GIS. ....</b>	<b>378</b>
14.1.	INTRODUCCION.	
14.2.	GENERACION DE IMÁGENES RASTER.	
	TRATAMIENTO DE LA INFORMACION EN EL GIS.	
14.3.	MALLADO DEFINIDO PARA EL MODELO.	
14.4.	CODIGO DE CONEXIÓN DESARROLLADO. ALGORITMO.	
	<b><u>CAPITULO IV:CONCLUSIONES. ....</u></b>	<b>391</b>

**CAPITULO V:RECOMENDACIONES.**

---

1.	INTRODUCCION .....	395
2.	BASES DEL PLAN.....	395
2.1.	NATURALEZA DEL ACUIFERO CUATERNARIO.	
2.2.	NATURALEZA DE LOS MATERIALES Terciarios.	
2.3.	RELACION DIRECTA ENTRE EL ACUIFERO ALUVIAL Y EL RIO TAJO.	
2.4.	SUPERFICIE DE CONTACTO IRREGULAR ENTRE EL Terciario y Cuaternario.	
3.	DESARROLLO DEL PLAN.....	398
3.1.	TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PIEZOMETRICO.	
3.2.	CONTROL PIEZOMETRICO PERIODICO.	
3.3.	CONTROL QUIMICO Y RADIOQUIMICO.	
3.3.1.	Control analítico específico (pozos seleccionados).	
3.3.2.	Control analítico general.	
3.4.	RECOPILACION DE INFORMACION Y REDACCION DE INFORMES.	
4.	TECNICAS DE CONTROL.....	411
4.1.	PROCEDIMIENTO GENERAL OPERATIVO.	
4.2.	CALCULO DEL IMPACTO AMBIENTAL RADIOLOGICO.	

**CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA. ....**417

---

## ANEXOS

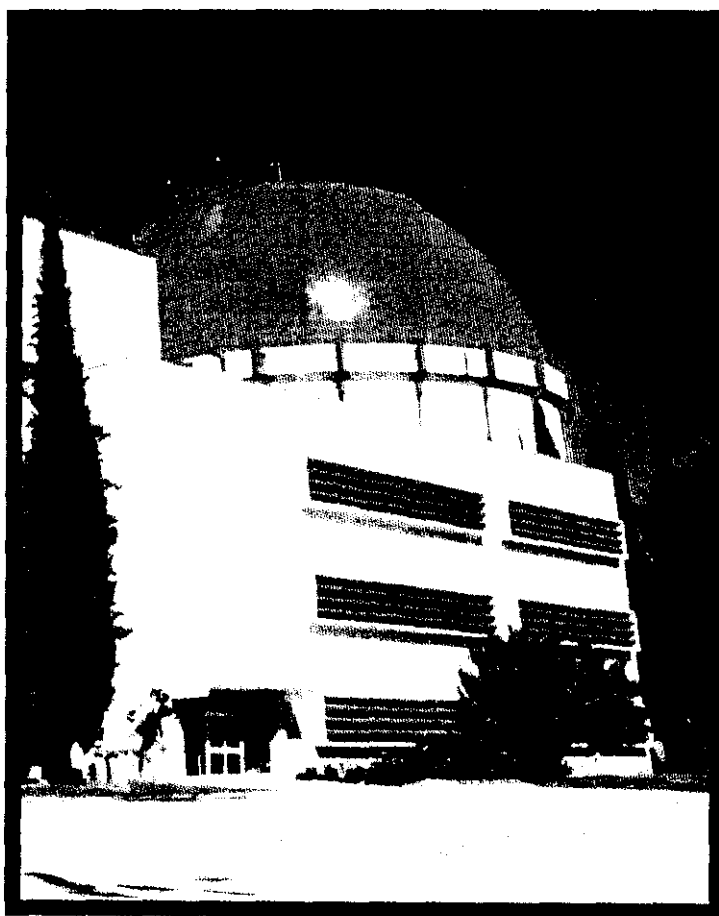
---

ANEXO	DESCRIPCION
2-1	Cartografía geológica. Escala 1:1000
2-2	Cartografía geológica. Escala 1:25000
2-3	Fotografías Aéreas.
2.2-1	Curvas Granulometricas.
4.3-2	Secciones Sísmicas
5-1	Poblaciones aguas abajo de la CNJC.
5-2	Puntos de agua.
5-3	Localización fotográfica aérea de los puntos de agua de interés.
5-4	Inventario de puntos de interés hidroquímico.
5-5	Usos del agua por poblaciones.
6-1	Esquema constructivo de los pozos PP-1 y PP-2
6-2	Sondeos: Litología.
7-1	Resultados de los ensayos de bombeo.
11	Toma de muestras de agua subterránea en los pozos de monitorización de la CNJC.
11-4	Análisis estadístico de los resultados químicos y radioquímicos de las aguas.
13-3	Modificaciones de los códigos utilizados.
13.5.3-1	Generación de Superficie topográfica y de contacto.
13.5.3-2	Simulaciones
13.10.2-2	Análisis de sensibilidad.
4.2/v	Modelo de cálculo de las dosis por efluentes líquidos.



# **SIMULACION DE RIESGOS DE CONTAMINACION QUIMICA Y RADIOQUIMICA MEDIANTE EL EMPLEO DE SISTEMAS INFORMATICOS:**

**APLICACIÓN AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA**



## **R E S U M E N**



---

## RESUMEN

---

El estudio de las aguas subterráneas que constituye la presente tesis, es un complemento de los realizados sobre las aguas superficiales del emplazamiento de la Central Nuclear José Cabrera (CNJC), cuya finalidad es determinar el impacto radiológico a la población, a través de las diferentes vías de exposición, por los efluentes líquidos.

Estos estudios medioambientales se caracterizan por la gran cantidad de documentación que es preciso manejar. Así por ejemplo, en dicho estudio hidrológico de las aguas subterráneas que se inicia en el año 1995 para la CNJC, fue preciso atender, entre otra, a la siguiente documentación:

- Topografía.
- Fotografías aéreas.
- Sísmica de refracción.
- Meteorología.
- Cartografía geológica.
- Inventario de puntos de agua.
- Análisis químicos y radioquímicos.
- Usos del agua.
- Información de sondeos.
- Resultados de los ensayos en los sondeos.
- Seguimiento piezométrico.
- Modelos de flujo y transporte.

Con el objeto de disponer de un control y contraste adecuado de toda esta información, se decidió gestionarla mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS), de manera que toda ella pudiera ser consultada, actualizada y tratada en su conjunto.

Dicho sistema permite integrar los diversos datos que intervienen en el estudio, posibilitando una visualización rápida de todos ellos, añadiéndose la ventaja de que toda esta información se encuentra georeferenciada. Además, por la propia construcción del GIS, la actualización de los datos es muy sencilla, así como la obtención en cualquier momento de toda la información necesaria, incluidos los resultados de las modelizaciones para varios escenarios de comportamiento.

Una gran parte de la información contenida en el GIS, es necesaria para definir el modelo de flujo y transporte de los hipotéticos contaminantes de las aguas subterráneas. La introducción directa de todos estos datos en el modelo, conllevaría un considerable tiempo y dificultad operativa. Para obviar estos inconvenientes, se ha desarrollado una particular metodología, mediante la cual el modelo accede directamente a la información contenida en el GIS, reduciendo de este modo el tiempo de ejecución del modelo e incrementando su precisión.

La implantación de todo este conjunto de actividades en el GIS, se realiza a través de un PC normal, con la capacidad de memoria adecuada, lo que permite simular potenciales riesgos de contaminación química y radioquímica.

Este nuevo enfoque de almacenamiento y análisis de los datos para el referido estudio hidrológico de las aguas subterráneas y que tal como se decía se inició en 1995 y finalizó en 1998, es así mismo extensible, entre otros, a los estudios de carácter medioambiental.

#### **APLICACION AL ESTUDIO HIDROLOGICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA.**

El agua en la naturaleza circula según un ciclo hidrológico constituido por procesos de precipitación, escorrentía, infiltración y evaporación. El agua infiltrada en el subsuelo se acumula merced a los poros, fisuras y grietas de los materiales que, por su naturaleza, tienen capacidad para almacenarla y transmitirla.

Dicha capacidad, depende de la porosidad y permeabilidad de los materiales, es decir, de las dimensiones de sus poros y fracturas y de la interconexión y continuidad entre ellos, siendo por lo tanto muy variable.

La calidad de esta agua subterránea puede verse modificada, tanto por causas naturales intrínsecas al propio acuífero, como por factores externos. Cuando estos últimos son ajenos al referido ciclo hidrológico, hablamos de contaminación.

La prevención, control y resolución de los problemas derivados de la contaminación de las aguas subterráneas, constituye un pilar básico en cualquier política avanzada de gestión de los recursos hídricos y por ende de protección medioambiental. En consecuencia, las instalaciones nucleares no son ajenas a esta potencial problemática, ya que son susceptibles de producir alteraciones fisicoquímicas de las aguas subterráneas en su área de emplazamiento y entorno.

Las alteraciones físicas serían consecuencia de la modificación del flujo natural de las aguas subterráneas por las propias cimentaciones de la instalación. Las químicas derivarían del comportamiento del agua subterránea como medio de transporte de los potenciales contaminantes, tanto de isótopos estables como radioactivos.

Estas aguas potencialmente contaminadas podrían alcanzar las aguas superficiales y la biosfera por flujo natural o como consecuencia de extracciones realizadas para su uso.

Por otra parte, las aguas subterráneas pueden ejercer efectos sobre la seguridad de estas instalaciones, al relacionarse directamente con la estabilidad del terreno, función

de su grado de saturación, y con fenómenos de corrosión en estructuras y cimentaciones.

El conocimiento de estos efectos resulta de gran importancia para la explotación segura de las centrales nucleares y ello requiere estudiar el medio hidrológico, los parámetros que controlan el flujo de agua subterránea, su calidad y capacidad para transportar contaminantes.

Para ello, se establece un programa de caracterización, vigilancia y control de los niveles de agua subterránea y calidad química que permita lo siguiente:

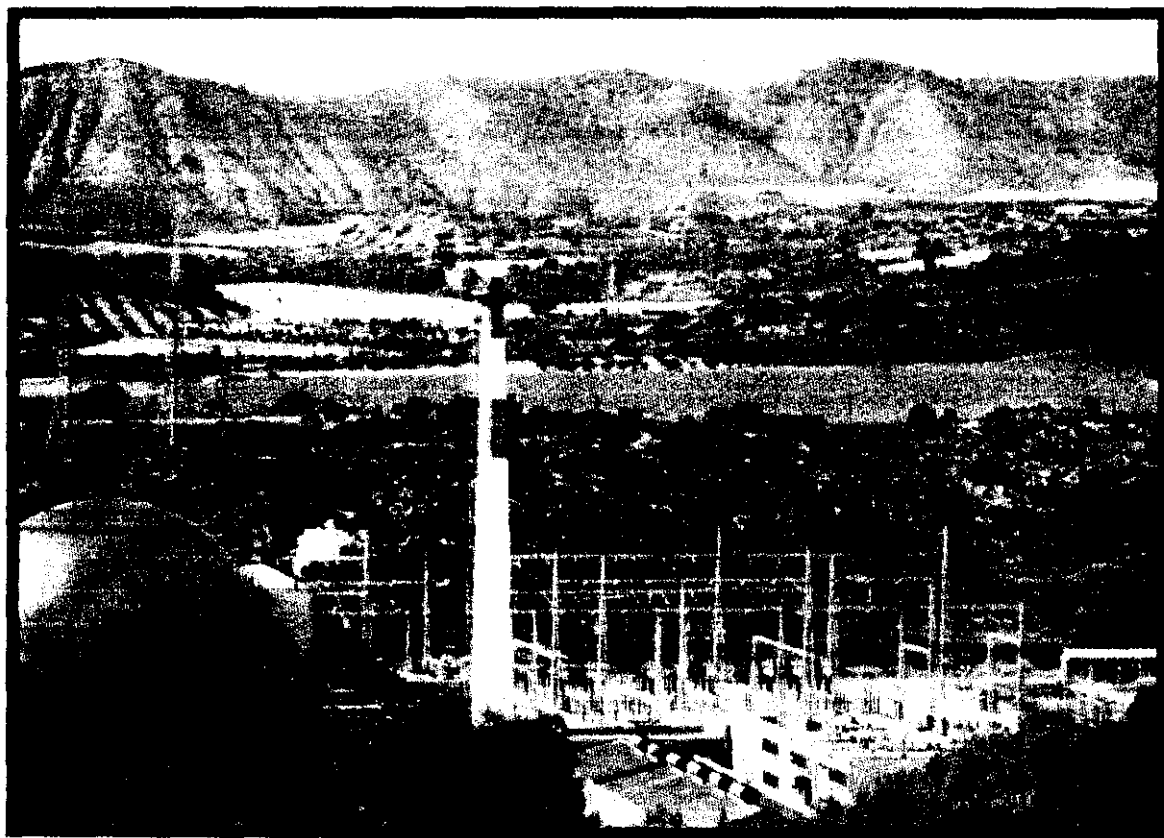
1. Realizar modelos que permitan predecir el movimiento de los hipotéticos contaminantes químicos y/o radiactivos y comportamiento de los acuíferos ante modificaciones de su condición natural.
2. Diseñar y establecer técnicas de carácter preventivo y correctivo de aquellos efectos que pudieran significar un riesgo sobre el ecosistema.
3. Realizar un seguimiento para detectar posibles situaciones anómalas.

La presente tesis contempla todos los aspectos descritos aplicados a la referida Central Nuclear José Cabrera, ubicada en la margen izquierda del río Tajo, término de Almonacid de Zorita, provincia de Guadalajara.



**SIMULACION DE RIESGOS DE  
CONTAMINACION  
QUIMICA Y RADIOQUIMICA  
MEDIANTE EL EMPLEO DE  
SISTEMAS INFORMATICOS:**

**APLICACIÓN AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA**



**CAPITULO I  
INTRODUCCION**





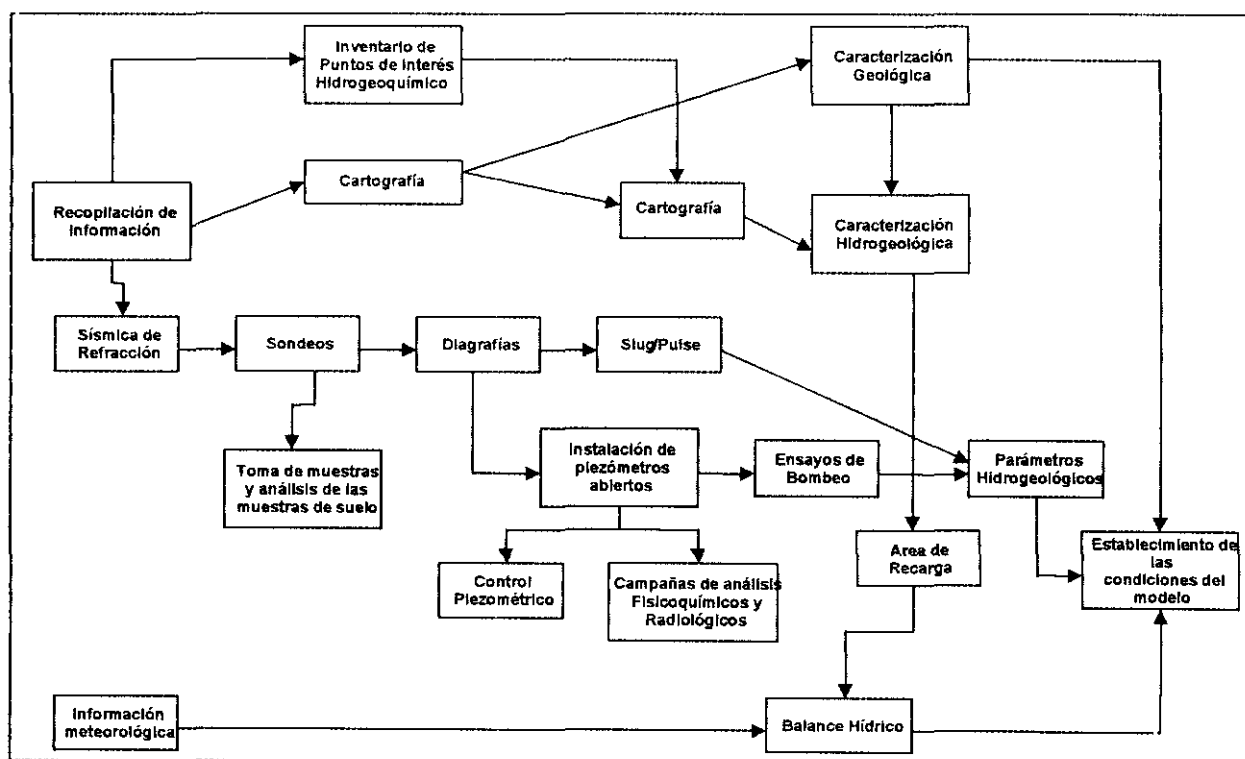
## CAPITULO I - INTRODUCCION

La presente tesis recoge los principales trabajos realizados para establecer las características hidroquímicas e hidrogeológicas del emplazamiento de la CNJC y en función de las mismas, diseñar el pertinente Plan de Vigilancia y Control (PVC) de las aguas subterráneas, que enlaza con los de las aguas superficiales.

Dichos trabajos que comenzaron en 1995, finalizaron en el primer semestre de 1998. A partir de esta última fecha, se sigue el referido PVC.

En la figura 1 se refleja la estructura organizativa del estudio, que comenzó con una recopilación de toda la información disponible y un reconocimiento de campo. De este modo se establecieron y priorizaron los sucesivos trabajos a realizar, tanto a nivel administrativo como físicos. Entre estos últimos están los perfiles sísmicos, sondeos, testificación, instalación de piezómetros, ensayos de bombeo, análisis químicos y radiológicos... Ello permitió identificar un acuífero aluvial, independizado de otro acuífero confinado en el Terciario. Por lo tanto, los esfuerzos se centraron en el estudio de los materiales superficiales que sirven de apoyo a las estructuras de la CNJC.

**Figura 1. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS**



Posteriormente, se planificó un control piezométrico quincenal y una campaña de toma de muestras y análisis químicos y radioquímicos del agua de los piezómetros.

A partir de la información de base tal como la cartografía, sondeos, sísmica, información de antiguas campañas geofísicas y de perforaciones, datos de cimentaciones..., se establecieron las características morfológicas del acuífero aluvial, como son sus límites, dimensiones, espesor, etc.

Los datos obtenidos en los sondeos, las diagráfias, los ensayos de permeabilidad, las muestras tomadas en los diferentes materiales, los bombeos, etc, permitieron definir las características del acuífero: Permeabilidad, Transmisividad y Coeficiente de Almacenamiento.

Por otra parte, se llevó a cabo un tratamiento estadístico detallado de los datos analíticos y de los niveles piezométricos, que han permitido establecer semejanzas y diferencias en el comportamiento dinámico de los piezómetros y relacionar los diferentes componentes físico-químicos y radiológicos del agua asociando grupos de piezómetros con funcionamiento y comportamiento semejante.

Con todo ello se estableció un modelo conceptual, que se informatiza (modelo matemático) a fin de simular gráficamente el comportamiento del acuífero y predecir situaciones futuras en función de las variaciones estacionales del medio y parámetros hidrológicos.

Para reducir el tiempo de ejecución del modelo matemático e incrementar su precisión, se desarrolló específicamente, un algoritmo del código de conexión con el Sistema de Información Geográfica utilizado en todo este estudio para almacenar y gestionar toda la información.

El desarrollo del correspondiente PVC establecido, permite detectar situaciones anómalas e ir mejorando la respuesta del modelo matemático.

En los capítulos posteriores se detallan todos estos trabajos, sus conclusiones y recomendaciones, poniéndose de manifiesto como cualquier estudio de esta naturaleza que requiere el manejo de una gran cantidad de información, podría tratarse, si se estima conveniente, de forma análoga al de la presente tesis.

**SIMULACION DE RIESGOS DE  
CONTAMINACION  
QUIMICA Y RADIOQUIMICA  
MEDIANTE EL EMPLEO DE  
SISTEMAS INFORMATICOS:**

**APLICACIÓN AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA**



**CAPITULO II  
PARTE EXPOSITIVA**



## 1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSÉ CABRERA

La Central Nuclear José Cabrera (CNJC), se halla ubicada en el término municipal de Almonacid de Zorita, provincia de Guadalajara. Dista 66 km. al Este de Madrid y 40 Km. al Suroeste de Guadalajara.

Se encuentra a una altitud de 604 m., longitud  $2^{\circ} 53'$  y latitud  $40^{\circ} 21'$  (véase fig. 1-1).

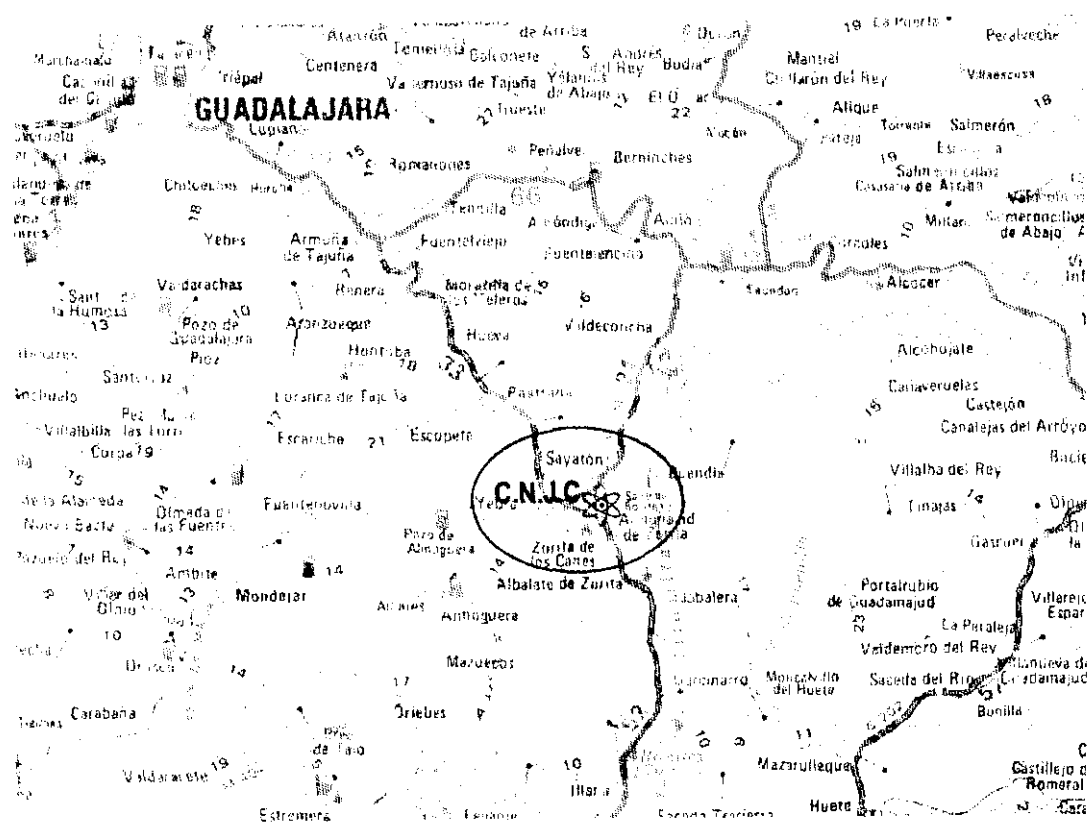
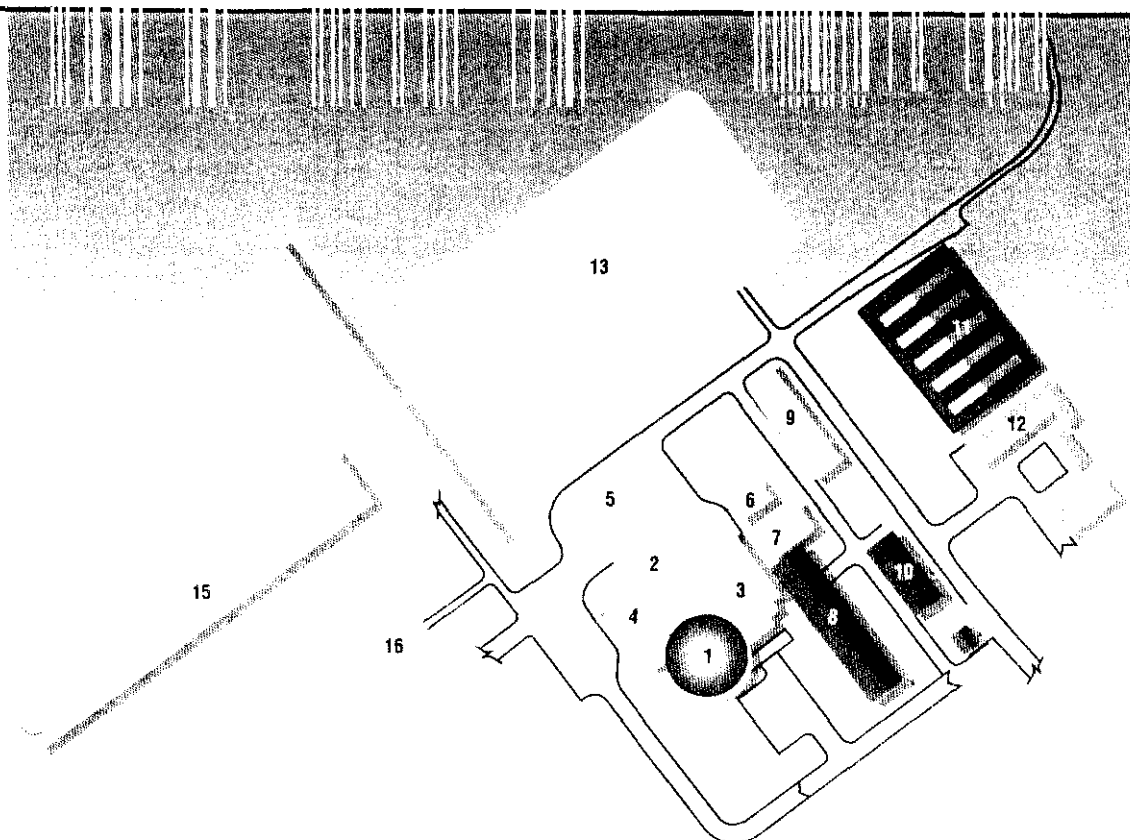


Figura 1-1. Esquema de situación de la Central Nuclear José Cabrera.

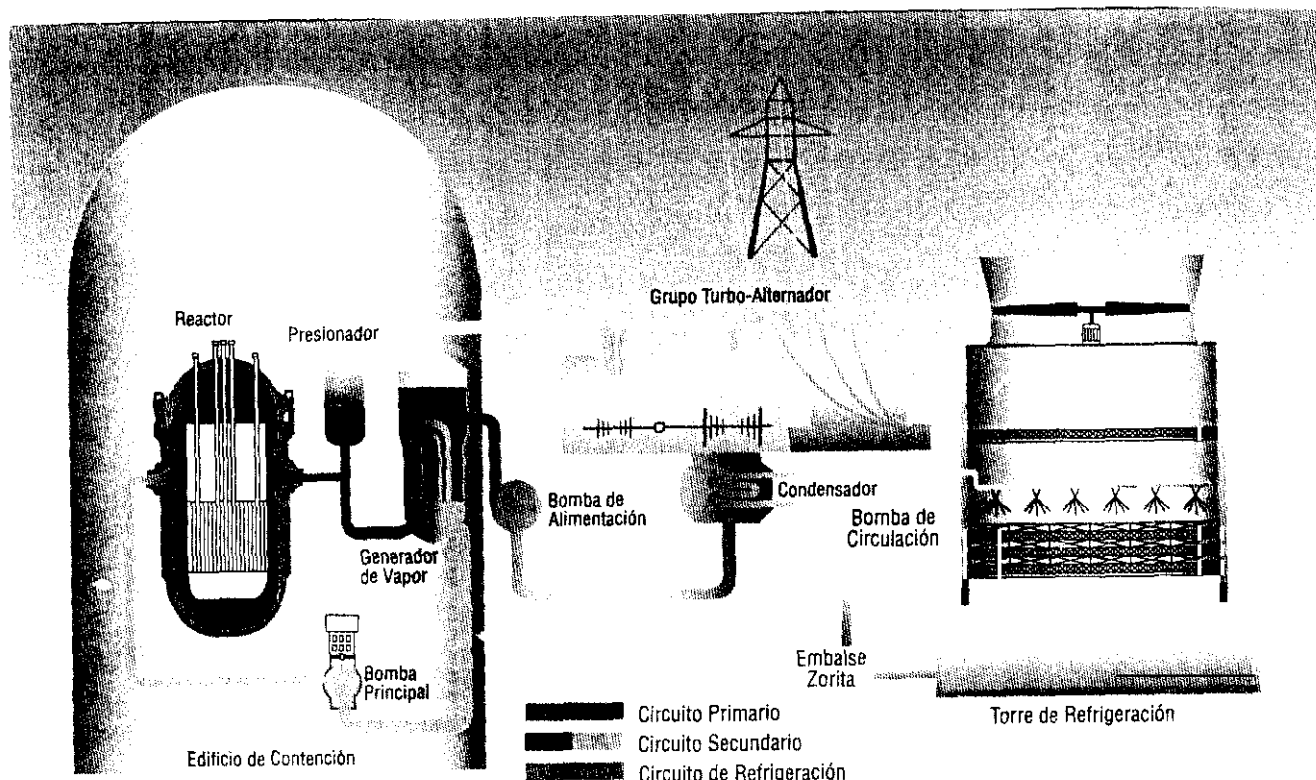
Los edificios que constituyen la central se sitúan en la margen izquierda del río Tago, embalse de Zorita, aprovechando una amplia zona de terraza aluvial emplazada entre las presas de Bolarque y Zorita. En la Figura 1-2, se reseña la disposición e identificación de dichos edificios.

- 1- Edificio reactor.
- 2- Edificio turbina.
- 3- Edificio auxiliar.
- 4- Edificio de oficinas.
- 5- Transformadores.
- 6- Edificio diesel.
- 7- Edificio del evaporador.
- 8- Almacén temporal residuos.
- 9- Edificio de talleres y laboratorios.
- 10- Edificio almacén.
- 11- Zona de almacenamiento de residuos.
- 12- Almacenes y archivos.
- 13- Subestación.
- 14- Canal de descarga.
- 15- Torre de refrigeración.
- 16- Planta de agua potable.



La central consta de un Sistema Nuclear de Generación de Vapor, de diseño y suministro de Westinghouse, formado por un reactor de agua ligera a presión (PWR) de 510 MW de potencia térmica y un circuito cerrado de refrigeración, un grupo turbina-generador cuya potencia eléctrica es de 160 MW, y todos los Sistemas Auxiliares y de Seguridad necesarios para el funcionamiento de la instalación en condiciones seguras. Su construcción se inició en julio de 1965 y duró tres años, ya que el 31 de marzo de 1968 se realizó la prueba funcional en caliente. En junio de ese mismo año se realizó la carga del núcleo y su primera criticidad. Los primeros kilovatios de origen nuclear se lanzaron a la red española el 14 de julio de 1968 y desde entonces se inició una subida escalonada de potencia que llevó a la explotación comercial de la central.

La fig. 1-3, refleja el diagrama de flujos esquemático de la central. Como puede observarse, está constituida por dos circuitos principales cerrados que se denominan primario o de refrigeración del reactor y secundario, y un circuito abierto de refrigeración del condensador, que incluye una torre de refrigeración de tiro forzado.



**Figura 1.3. Esquema de Ciclos.**

El circuito primario se compone del reactor, bomba de circulación del refrigerante, presionador y generador de vapor. Este último componente es el nexo de unión con el secundario.

El calor producido en el núcleo donde se aloja el combustible, es transportado por el refrigerante del reactor hasta el generador de vapor. En este componente penetra por el interior de sus tubos y cede calor al agua del circuito secundario que circula por el exterior de dichos tubos, pasando a vapor. A la salida del generador, el refrigerante es impulsado por la bomba del reactor, con lo que se completa el ciclo.

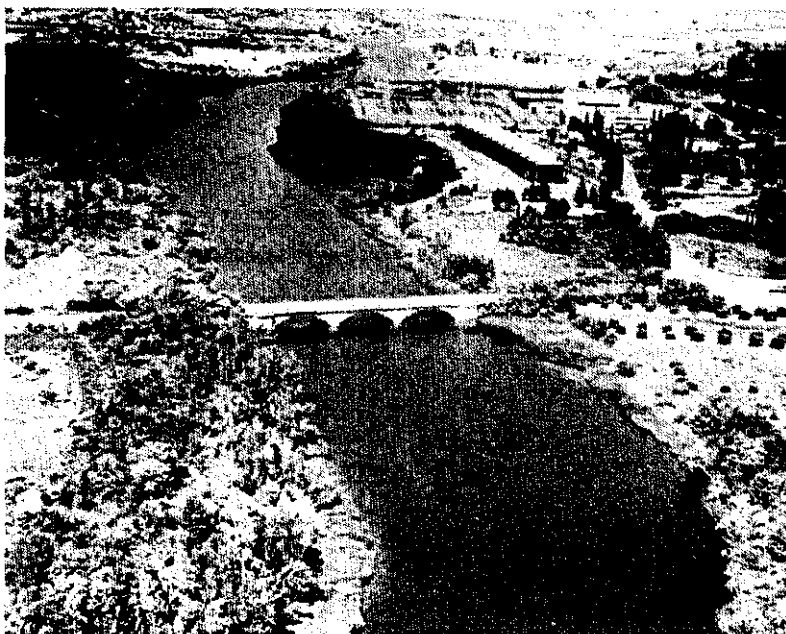
Con el objeto de alcanzar temperaturas que conduzcan al mejor rendimiento térmico, el circuito está sometido a una presión de 140 Kg/cm<sup>2</sup> a través del presionador.

El combustible está integrado por 69 elementos, y cada uno consta de 179 varillas en las que se aloja en forma de pastillas, el óxido de uranio enriquecido en un 3% en Uranio-235.

Respecto al circuito secundario, basta indicar que es análogo a una central convencional. El vapor producido en el generador mueve las turbinas de alta y baja presión y estas el generador eléctrico. Entre ambas turbinas se dispone de un recalentador y separador de humedad. Dicho vapor es condensado en el condensador y de aquí impulsado por las bombas de condensado y alimentación a través de una serie de calentadores, hasta el generador cerrándose el ciclo.

Para condensar el vapor, una masa de agua captada en el río Tajo pasa por el interior de los tubos del condensador, conduciéndose a continuación a una cántara desde la que es impulsada por medio de unas bombas, hacia la torre de refrigeración. Aquí sufre

un enfriamiento evaporándose un 1,2% de la masa de agua y descargándose el resto al río Tajo (Figura 1-4).



**Figura 1.4.** En las Centrales nucleares de agua a presión (PWR) existen tres circuitos de agua aislados entre sí: el primario que es el sistema de refrigeración del reactor que está en contacto con las vainas de combustible; el secundario que es el sistema de conversión de vapor en energía mecánica de rotación de la turbina; y el circuito de refrigeración de circulación que es el único cuya agua tiene contacto con el medio ambiente circundante.



---

## 2 POTENCIALES CONTAMINANTES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

---

Al tratarse de una instalación nuclear, los hipotéticos contaminantes de las aguas subterráneas del emplazamiento, pueden ser tanto de naturaleza radiactiva como convencional.

Su descripción e identificación se refleja a continuación.

### 2.1. RADIATIVOS.

Los productos radiactivos que se generan en un reactor nuclear de potencia PWR pueden clasificarse en las siguientes tres especies:

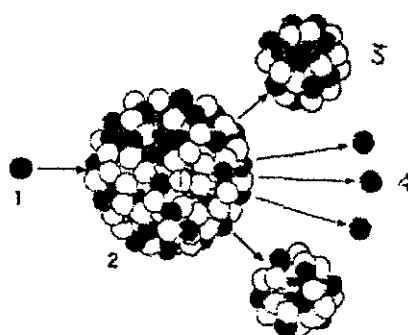
- i) *Productos de Fisión.*
- ii) *Productos de Activación.*
- iii) *Productos de Transmutación.*

#### 2.1.1. PRODUCTOS DE FISIÓN.

En el núcleo existen dos tipos de fuerzas intramoleculares que son las que determinan la estabilidad de un átomo. En primer término se tienen las fuerzas atractivas entre nucleones (protones + neutrones), las cuales actúan solamente a muy cortas distancias ( $\approx 10^{-13}$  cm), y de otra parte están las repulsivas de carácter culombiano ejercidas entre protones; por consiguiente, la estabilidad de un núcleo estará íntimamente relacionada con el número de neutrones y protones que lo componen.

Para números atómicos pequeños ( $Z$ ), la relación es aproximadamente la unidad mientras que para  $Z > 80$ , se incrementa hasta  $\approx 1,6$ . Este aumento está justificado al ser la fuerza total repulsiva proporcional a  $Z^2$  y por lo tanto deberá compensarse incrementando la fuerza atractiva, es decir, aumentando el número de neutrones. Sin embargo existe un límite en la relación  $N/Z$ , ( $n^\circ$  neutrones/ $n^\circ$  protones), para que un núclido sea estable, de tal modo que los elementos de  $Z \geq 84$  no poseen isótopos estables. Así del polonio ( $Z=84$ ) hasta el uranio, ( $Z=92$ ) son núclidos inestables (aunque existan en la naturaleza) y por tanto radiactivos.

Dentro de estos núclidos inestables algunos presentan el fenómeno de fisión, es decir, que tras la absorción de un neutrón se escinden en dos núcleos más ligeros denominados productos o fragmentos de fisión primarios, liberándose a su vez dos o tres nuevos neutrones. El proceso está acompañado de un fuerte desprendimiento de calor (figura 2.1.1.-1).



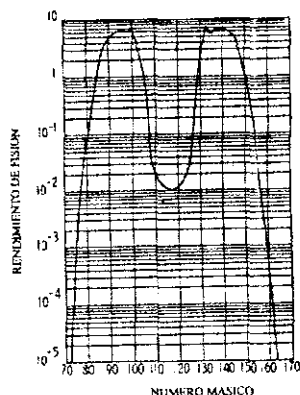
1. Neutrón libre
2. Núcleo pesado
3. Producto de fisión primarios
4. Neutrones liberados

**Figura 2.1.1-1. Fisión Nuclear.**

Los neutrones así originados, podrán chocar con otros núclidos produciendo nuevas fisiones y así sucesivamente. Esto es lo que se denomina "reacción en cadena".

Existen solamente tres isotopos (U-233; U-235; Pu-239) que tienen estabilidad suficiente para ser almacenados durante bastante tiempo y que son fisionables por neutrones de cualquier energía ("núclidos fisiles"). Por el contrario, el U-238 y Th-232 se fisionan únicamente con neutrones rápidos, por lo que se les denomina "núclidos fisionables"; también son llamados "fértils" por poder convertirse en especies fisiles como más adelante veremos.

Estudios realizados sobre la fisión del U-235 por neutrones lentos (o térmicos), que es el caso que nos ocupa, han puesto de manifiesto que dicho material puede escindir-se en más de 40 formas diferentes y por lo tanto da lugar a unos 80 productos de fisión primarios. La mayor parte de los mismos, se distribuyen en dos amplios grupos, denominados "ligero" y "pesado". El primero abarca los núclidos comprendidos entre 80 y 110 de número másico, (nº de protones + neutrones), y el pesado, los comprendidos entre 125 y 155. Esto queda reflejado en la fig. 2.1.1.-2.



**Figura 2.1.1-2. Rendimiento de Fisión del U-235 por neutrones térmicos vs número másico.**

Debido a que las relaciones neutrón/protón están por encima del intervalo de estabilidad en estos productos de fisión primarios, la mayor parte son emisores  $\beta$  negativos y por consiguiente se transformarán en otros productos, de acuerdo con la ley de desintegración radiactiva para emisores  $\beta$ , la cual establece que el núcleo resultante aumenta en 1 unidad su n° atómico, quedando inalterado el n° másico.

El núclido formado, sino es estable se desintegrará análogamente hasta llegar a la especie estable.

Si tal como se decía, se pueden originar en la fisión unos 80 isótopos diferentes y cada uno de ellos es, por término medio, precursor de otros dos, resulta que en este proceso se forman unos 200 radionúclidos en un breve intervalo de tiempo, los cuales se denominan en general "productos de fisión".

Desde el punto de vista operativo, una considerable proporción de estos productos carecen de interés, bien sea por tener periodos de semidesintegración muy pequeños, por su bajo rendimiento de fisión, por el tipo y energía de las partículas que emiten o simplemente por ser núclidos estables.

Isótopo	Período de semidesintegración		Isótopo	Período de semidesintegración	
Kr-85	10.7	a	I-135	6.7	h
Kr-85M	4.48	h	Te-132	78	min
Kr-87	78	min	Xe-133M	2.26	d
Kr-88	2.8	h	Xe-133	5.29	d
Rb-88	17.8	min	Xe-135	9.1	h
Sr-89	50.5	d	Xe-138	14.5	min
Sr-90	28	a	Cs-136	13	d
Sr-91	9.7	h	Cs-137	30	a
Sr-92	2.7	h	Cs-138	32.2	min
Y-90	64	h	Cs-139	9.5	min
Zr-95	65	d	Ba-139	83	min
Mo-99	66.7	h	Ba-140	12.8	d
I-131	8.06	d	La-140	40.2	h
I-132	2.3	h	Ce-144	284	d
I-133	20.3	h	Ce-141	32.4	d
I-134	53	min			

Tabla 2.1.1-I. Productos de Fisión de Interés Operativo.

En la Tabla 2.1.1.-I se muestran los productos de fisión de mayor interés operativo, indicándose para todos ellos, su periodo de semidesintegración.

Estos productos generados dentro de las vainas de combustible, pueden pasar al refrigerante del reactor cuyo volumen es de 55 m<sup>3</sup>, por difusión a través del Zircaloy-4 que constituye el material de envainado, así como por pequeñas fisuras o grietas de dicho material.

Otro mecanismo de contaminación del refrigerante, es por contaminación *del combustible con átomos de material fisionable durante el proceso de fabricación de los elementos.*

### 2.1.2. PRODUCTOS DE ACTIVACIÓN.

El medio circundante al combustible nuclear, es decir, el material de envainado, refrigerante con sus impurezas y aditivos químicos, y la propia vasija del reactor, son susceptibles de ser activados merced a los neutrones que escapan del combustible sin producir fisiones ni ser capturados por núcleos del mismo, e interacciones con protones rápidos.

Resultado de estas reacciones es la formación de otra especie de núclidos radiactivos, denominados "productos de activación".

Las impurezas que arrastra el refrigerante, son fundamentalmente óxidos de hierro, cromo, níquel, cobalto, circonio, etc derivados de la corrosión que forzosamente sufren los materiales de construcción. Por este motivo, a estos productos se les llama "productos de corrosión".

Aunque el agua utilizada como refrigerante, es sometida a un exhaustivo proceso de desmineralización, previa a su introducción en el circuito, a veces arrastra pequeñas cantidades, del orden de µg/l, de determinadas sustancias como puedan ser sodio, sílice, aire disuelto, etc., las cuales sufrirán su correspondiente activación.

En las centrales PWR, el refrigerante es una solución de ácido bórico, el cual es utilizado como moderador neutrónico. También se adiciona al mismo hidróxido de litio para regular el pH. En consecuencia, los átomos de boro y litio también serán activados.

Isótopo	Núclido	Período de semidesintegración	Reacción de Formación
Refrigerante (Agua Ligera)	N-13	10 min	O-16 (p, $\alpha$ )
	N-16	7.38 seg	O-16 (n,p)
	N-17	4.14 seg	O-17 (n,p)
	F-18	110 min	O-18 (p,n)
Aditivos (Reactores PWR)	H-3	12.26 a	B-10 (n,2 $\alpha$ )
			B-10 (n, $\alpha$ )Li-7
			Li-7 (n, n $\alpha$ )
			Li-6 (n, $\alpha$ )
Impurezas Disueltas	Na-24	15 h	Na-23 (n, $\gamma$ )
	K-42	12.36 h	K-41 (n, $\gamma$ )
	A-41	1.83 h	A-40 (n, $\gamma$ )
Materiales de Construcción (Productos de Corrosión)	Cr-51	27.8 d	Cr-50 (n, $\gamma$ )
	Mn-54	303 d	Fe-54 (n, $\gamma$ )
	Fe-55	2.6 a	Fe-54 (n, $\gamma$ )
	Fe-59	45 d	Fe-58 (n, $\gamma$ )
	Co-58	71 d	Ni-58 (n, $\gamma$ )
	Co-60	5.26 a	Co-59 (n, $\gamma$ )
	Ni-65	2.56 h	Ni-64 (n, $\gamma$ )
	Cu-64	12.8 h	Cu-63 (n, $\gamma$ )
	Zr-95	65 d	Zr-94 (n, $\gamma$ )
	Mo-99, Tc-99	67 h	Mo-98 (n, $\gamma$ )
	Ag-110 M	253 d	Ag-109 (n, $\gamma$ )
	Cs-134	2.1 a	Cs-133 (n, $\gamma$ )

Tabla 2.1.2-I. Productos de Activación

En la Tabla 2.1.2.-I, se describen las reacciones de formación de los importantes productos de activación, indicando su origen y periodos de semidesintegración.

Respecto al tritio, se forma principalmente a través del boro y litio. También puede formarse, aunque en mucha menor proporción, por fisión ternaria (8 E-5 átomos/fisión) y a partir del deuterio.

Su presencia en el ciclo del agua es un hecho constatado por las innumerables determinaciones realizadas en todo el mundo, desde los

años cincuenta. Por esta razón, resulta conveniente para el presente trabajo analizar en más detalle este isótopo radiactivo del hidrógeno.

El tritio está formado por dos neutrones y un protón, con un periodo de semidesintegración de 12,26 años. Se trata de un emisor beta de baja energía, 18,6 KeV.

Procede tanto de fuentes naturales como artificiales. Entre las primeras destacan las reacciones nucleares que tienen lugar en la alta atmósfera, producidas por los neutrones libres generados por los rayos cósmicos de procedencia extraterrestre, sobre los átomos de la misma:



Respecto a las causas artificiales se tienen de una parte, las explosiones termonucleares producidas en la atmósfera, principalmente durante los años 1952 a 1962 y en menor medida los años posteriores. Otras causas de ámbito más localizado, son las emisiones por determinadas instalaciones nucleares y/o radiactivas (centrales, industrias donde se fabrican productos luminiscentes activados por tritio, submarinos de propulsión nuclear, ...).

El tritio liberado en las explosiones termonucleares asciende aproximadamente a 0,07 Kg/Megaton. Desde 1945 a 1962 se estima una producción de tritio de 816 Kg, que fue distribuido por todo el planeta y arrastrado por las precipitaciones en forma de agua tritiada.

Estas causas dan como resultado que las precipitaciones contengan concentraciones de tritio que oscilan entre 0,25 Bq/l a 1,25 Bq/l.

En el caso que nos ocupa, la liberación del tritio durante los últimos cinco años en los efluentes líquidos de la CNJC, se refleja en la Tabla 2.1.2.-II.

AÑO	ACTIVIDAD Bq
1994	5.11E11
1995	1.02E12
1996	2.59E12
1997	2.16E12
1998	2.43E12

**Tabla 2.1.2-II. Actividad liberada de tritio en los efluentes líquidos de la Central Nuclear José Cabrera.**

### 2.1.3. PRODUCTOS DE TRANSMUTACIÓN.

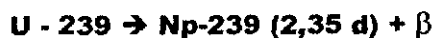
Bajo esta denominación se incluyen los átomos pesados originados por reacciones neutrónicas a través del propio combustible nuclear.

Las reacciones de formación más importantes son las siguientes:

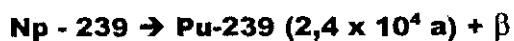


(El paréntesis indica el periodo de semidesintegración).

El núclido resultante, U-239, es radiactivo y se desintegra por emisión de una partícula  $\beta$  negativa.



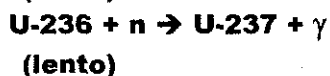
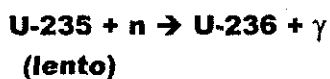
El neptunio formado también se desintegra por emisión  $\beta$ ,



El plutonio-239, es un material fisil. Sin embargo, también puede capturar un neutrón y pasar a Pu-240, el cual no es fisiónable. Ahora bien, este último núclido da lugar a la formación de Pu-241, el cual si es fisiónable.



También el U-235 puede capturar un neutrón lento y transformarse en U-236, el cual por captura también de neutrón lento, pasa a U-237.



Finalmente cabe destacar que aun siendo el U-238 un núclido fisiónable, su reacción más importante en el combustible es la de captura de neutrones lentos.

La presencia de estos productos en el refrigerante depende fundamentalmente de las integridad de las vainas de combustible.

## 2.2. CONVENCIONALES.

Los contaminantes convencionales más significativos por su naturaleza y/o volumen son los siguientes:

- i) **Ácido Sulfúrico.**
- ii) **Hidróxido sódico.**
- iii) **Combustibles líquidos.**
- iv) **Aceites.**
- v) **Boro.**

En la planta de producción de agua desmineralizada, el ácido sulfúrico se utiliza para regenerar las resinas catiónicas de cambio iónico y su volumen disponible viene a ser de 17 m<sup>3</sup>.

La sosa se usa análogamente para las resinas aniónicas, siendo su volumen de 20 m<sup>3</sup>.

En cuanto a los combustibles líquidos, se trata de gas-oil utilizado para la planta de generación eléctrica de emergencia (diesel), con un volumen de 180 m<sup>3</sup> y para la caldera auxiliar con 7,5 m<sup>3</sup>. También se dispone de gasolina para la bomba de emergencia contra incendios (485 l).

Los aceites son tanto de lubricación para turbinas y otras bombas, con un volumen de 40 m<sup>3</sup>, como aislantes de transformadores, cuyo peso es de 55.000 Kg.

El ácido bórico es utilizado como moderador neutrónico existiendo un volumen disponible del orden de 2000 m<sup>3</sup> (tanque recarga, acumulador, foso combustible,...).



### 3 GEOLOGÍA DE LA ZONA DEL EMPLAZAMIENTO

#### 3.1. MARCO GEOLÓGICO.

La zona de estudio se encuentra dentro de la unidad geológica denominada "Fosa del Tajo", que está limitada por el Sistema Central al N, la Cordillera Ibérica al E, y los montes de Toledo al O y S. (Véase fig. 3.1-1).

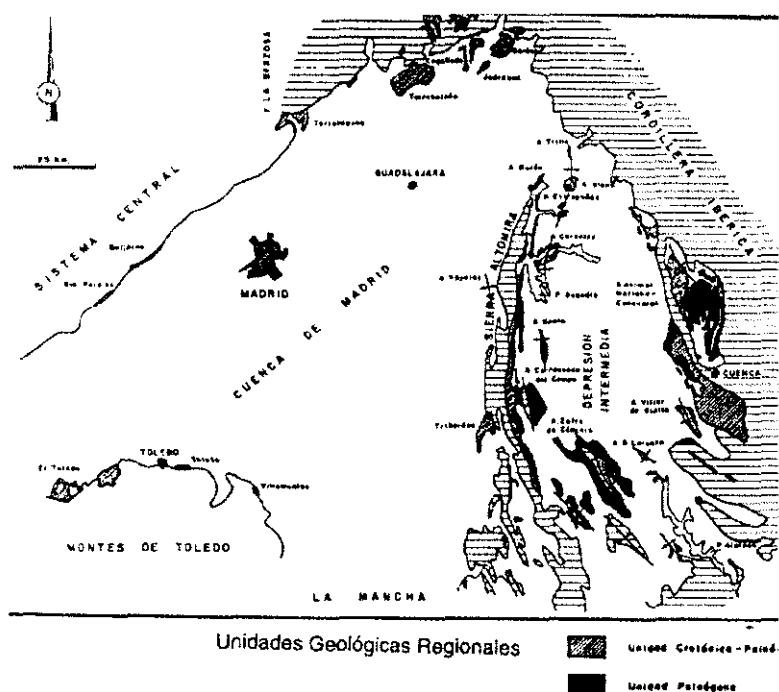


Figura 3.1-1. Unidades Geológicas Regionales.

Esta unidad está dividida en dos subcuencas limitadas en sentido N-S por la Sierra de Altomira, que independiza la Cuenca de Madrid al O y la Depresión intermedia al E.

Los materiales representados abarcan desde el Pérmico discordante sobre un zócalo Paleozoico Inferior, hasta el terciario superior, sobre el que se dispone un Cuaternario en el que destacan los materiales aluviales de las terrazas del Río Tajo.

La zona se ha visto sometida en el tiempo a una serie de esfuerzos compresivos derivados de la dinámica cortical, que se reflejan en dos etapas tectogenéticas:

#### i) Estructuras prealpinas.

## ii) **Estructuras alpinas.**

La fosa del Tajo está constituida en esta área, por un relleno de sedimentos paleógenos y neógenos de origen continental que están ligados a la evolución estructural de la Cordillera Ibérica, Sistema Central y Sierra de Altomira.

Las diferentes etapas tectogenéticas se van a reflejar aquí, como una serie de discordancias entre los depósitos, pudiendo destacarse los materiales cretácicos - paleógenos como preorogénicos, con grandes contrastes de subsidencia, las potentes series detríticas del Paleógeno en el paroxismo de la deformación Alpina, y la Unidad Neógena con una serie de discordancias menores que configuran una discordancia progresiva, marcando la colmatación de la cuenca.

## 3.2. **ESTRATIGRAFIA.**

En el área de trabajo , enmarcada entorno a CNJC, se reconocen materiales cuya edad alcanza desde el Cretácico Superior, hasta la época contemporánea.

Los materiales sedimentarios se distribuyen en dos dominios coincidiendo con una importante ruptura sedimentaria en el tránsito Paleógeno-Neógeno (Arveniense-Ageniense), representada con una discordancia angular.

El otro dominio se emplaza netamente dentro del Neógeno y se corresponde con diferentes facies detríticas.

A su vez dentro del Neógeno se distingue una ruptura sedimentaria a nivel de la cuenca, identificable como una suave discordancia en el tránsito Paleógeno/Neógeno - Neógeno propiamente dicho (Ageniense).

Por último los depósitos cuaternarios están relacionados en su mayor parte con la dinámica fluvial (terrazas del río Tajo), o con depósitos relacionados con procesos gravitacionales.

A continuación se describen las diferentes unidades litológicas reconocidas en el entorno regional próximo al emplazamiento de la central. (Véase figura 3.2-1).

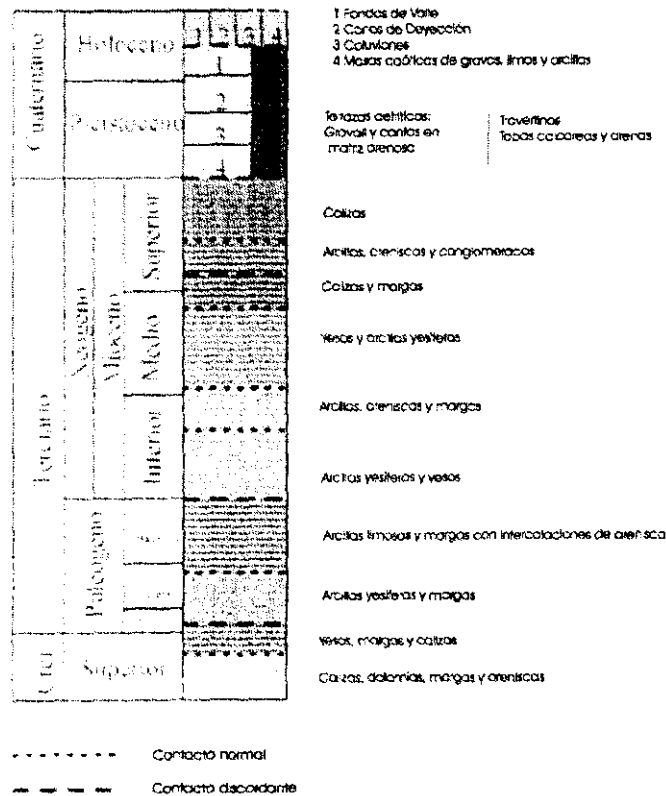


Figura 3.2-1. Columna estratigráfica de la zona.

### 3.2.1. CRETÁCICO.

#### • Calizas, dolomías, margas y areniscas.

Se trata de un conjunto complejo de calizas de matriz margosa o arenosa, con frecuencia dolomitizadas y a menudo con aspecto oqueroso.

Hacia la base es más arenosa en facies de tipo Utrillas comprendiendo arenas versicolores, arcóscicas con niveles de conglomerados, cantos de cuarcita y de cuarzo.

Las calizas se disponen en blancos compactos y muestran frecuentes intercalaciones detríticas de tipo arenoso. Localmente se presentan dolomitizados e intercalados con tramos margosos.

Las dolomías se presentan masivas con tonos pardo amarillentos claros. La sustitución con frecuencia es total.

Esta unidad da origen a la Sierra de Altomira con potencias próximas a los 150 m.

◦ **Yesos, margas y calizas (Facies Garum).**

Representan al Cretácico Superior eminentemente continental, constituido por un tramo basal de calizas recristalizadas, y margas con tramos calizos lenticulares.

Por encima, la litología que define la unidad, está constituida por un conjunto evaporítico de yesos sacaroideos de tonos claros o parduzcos en bancos gruesos, y ocasionalmente niveles arcillosos rojos o verdes.

Su límite superior está erosionado y marca la discordancia basal con el Paleógeno.

### 3.2.2. Terciario.

◦ **Arcillas yesíferas y margas.**

Afloran en el flanco N del anticlinal de Sayatón, en el contacto discordante sobre los materiales cretácicos, en este caso yesos, margas y calizas de las facies "Garum".

Se trata de un nivel potente de arcillas y margas intercaladas con niveles de yeso sacaroideo y margas yesíferas. Pueden aparecer también tramos de areniscas pardas o pardoamarillentas de grano fino hacia el techo.

En la base de la unidad predominan algunos niveles de margas y calizas oquerosas, coincidiendo con la discordancia basal del Paleógeno.

◦ **Arcillas limosas y margas con intercalaciones de areniscas.**

Está formada por una alternancia de materiales arcillo-limosos, y margosos, en la que se localizan paquetes areniscosos.

Ocasionalmente pueden encontrarse niveles calizos intercalados a muro de paquetes margosos.

Los tramos limo-arcillosos constituyen niveles masivos de espesor variable. Los niveles margosos se presentan intercalados entre los limos como capas grises con un espesor medio de 0,2 - 0,3 m.

Los niveles areniscosos forman capas masivas de poco espesor, del orden de 0,5 m, y con una continuidad lateral limitada, o rellenando canales de 6 - 8 m de espesor máximo. La frecuencia de estos paleocanales es mayor en la parte inferior de la unidad,.

Los depósitos de canales son tanto de alta como de baja sinuosidad. Los de alta sinuosidad son barras de meandro que se caracterizan por presentar secuencias positivas y superficies de acreción lateral. Estas secuencias positivas presentan otras estructuras sedimentarias, como son estratificación cruzada de gran escala tipo surco, a veces laminación oblicua de barras arenosas, estratificación cruzada de gran escala tipo planar y estratificación cruzada de pequeña escala. El tamaño de grano decrece hacia el techo desde arena gruesa hasta arena fina.

Los canales de baja sinuosidad son de tres tipos:

- i) ***los que presentan relleno continuo, formado por un único coset de estratificación cruzada de pequeña escala, o bien por una secuencia positiva de estructuras sedimentarias;***
- ii) ***los constituidos por superposición de cosets tabulares, separados por superficies de discontinuidad horizontales;***
- iii) ***rellenos por canales amalgamados.***

Estos últimos se interpretan como canales de tipo trenzado.

Las capas de areniscas (tamaño de grano de arena fina a muy fina) son masivas o bien presentan estratificación cruzada de pequeña escala o climbing ripples. Sobre estas capas se han desarrollado, con frecuencia, paleosuelos que enmascaran las estructuras primarias. Se interpretan como depósitos de desbordamiento marginal.

#### ◦ **Arcillas, arcillas yesíferas y yesos.**

Se reconoce a ambos lados del anticlinal de Sayatón, y se presenta como una suave discordancia angular sobre la unidad anterior.

Está constituida por arcillas y limos en capas métricas, con nivelillos centimétricos de yesos.

Hacia la base existen algunos niveles métricos de areniscas. La potencia de la unidad parece estar próximo a los 80 m, si bien esta es muy variable, y en ocasiones esta enmascarada o erosionada pudiendo faltar en amplias extensiones.

**NEÓGENO.****◦ Arcillas, areniscas y margas.**

Se disponen discordantemente sobre los materiales paleógeno-neógenos. Afloran vistosamente en el Cerro de la Pangía.

Su límite basal es una ruptura sedimentaria sobre las unidades anteriormente citadas, y que lateralmente pasa a cambiar de unidad, apareciendo materiales de naturaleza arcillosa y caliza.



**Cerro de La Pangía. Se aprecian las diferentes unidades miocenas mediante un acusado contraste cromático.**



**Relleno de canal constituido por areniscas encajado en los niveles arcillosos miocenos.**

Su potencia en esta zona es de unos 100 m. con una litología compuesta de arcillas marrones, ocre y grises, en ocasiones algo limosas, y con presencia de vetas y nódulos de yeso. La potencia de los paquetes arcillosos está próxima a los 4-6 m.

Las areniscas son de grano fino, excepcionalmente medio a grueso, y predominantemente silíceas, con cemento carbonatado. Se presentan en paquetes de continuidad lateral decamétrica a hectométrica y de espesor variable comprendido entre el metro y los 4 m.

Tienen base canalizada, en ocasiones con depósito de cantos, cicatrices erosivas, estratificación cruzada en surco y planar y en ocasiones estructuras de origen tractivo en forma de ripples.

También se pueden reconocer secuencias de abandono de canal con estructuras como las mencionadas.

El ambiente de depósito corresponde al de un abanico aluvial de carácter húmedo.

▫ **Yesos y arcillas yesíferas.**

Se dispone concordantemente sobre la unidad anterior, aflorando claramente en el Cerro de la Pangia. Esta unidad sufre lateralmente un cambio de facies en el que se origina un cambio en la litología dominante, dando lugar a otra unidad constituida por arcillas yesíferas y yesos.

El límite inferior es un tránsito gradual sobre la unidad de base constituida por areniscas y arcillas, y de su equivalente lateral, arcillas y calizas. El límite superior viene marcado por la aparición de carbonatos, margas y calizas. La potencia de la unidad es variable, si bien en el tramo aflorante en el cerro de la Pangia tiene un espesor aproximado de 30 - 40 m.

Los yesos, predominantes en esta unidad, se presentan bien estratificados, con sacaroides o alabastrinos con tonos pardo amarillentos y son de espesor decimétrico a métrico. En ocasiones se presentan con intercalaciones micríticas con aspecto de costras calcáreas de espesor centimétrico.

Hay instalaciones de yeso pulverulento que contienen pequeños cuerpos de areniscas a las que se puede asociar un origen detrítico.

También puede encontrarse intercaladas dolomias blancas en capas centimétricas irregulares.

Las arcillas muestran gran variedad de colores y tonos, pudiendo mostrar una gran variabilidad en el contenido en cristales de yeso.

En general hay un predominio de tonos claros hacia el techo y oscuro hacia la base. El espesor de las capas oscila entre los 2 m, y excepcionalmente los 12 m.

Las estructuras sedimentarias dentro de la unidad son escasas y se reducen a la geometría lenticular de algunos pasadas arenosas.

Las facies litológicas descritas se ordenan en secuencias de espesor métrico constituidas por arcillas o arcillas yesíferas en la base que evolucionan hacia el techo a arcillas yesíferas y yesos masivos respectivamente.

#### ▪ **Calizas y margas.**

Junto con la unidad anterior, forma una megasecuencia sedimentaria limitada a techo por una disconformidad de orden mayor.

La litología de esta unidad es predominantemente calcárea, aunque en su términos inferiores presenta numerosos tramos margosos de tonos blancos con inclusiones de nódulos micríticos.

En la base de la unidad aparecen ocasionalmente areniscas con características semejantes a los de la unidad cartográfica superior.

Las calizas son con frecuencia margosas y oquerosas con aspecto travertínico y están estratificadas en capas de espesor decimétrico.

En muchos casos tienen porosidad móldica o fenestral y laminaciones algales. Pueden identificarse oncolitos de 2 a 3 cm de diámetro. La potencia de la unidad varía considerablemente a escala regional, pudiendo atribuírsele un espesor de 30 - 40 m en la zona de estudio.

#### ▪ **Arcillas, areniscas y conglomerados.**

Señala el comienzo un nuevo ciclo Neógeno reflejando una ruptura sedimentaria de ámbito cuencal.



En general se muestran como una masa arcillosa de tonos pardos, marrón y rojizo en la que se engloban las areniscas y los conglomerados.

Las areniscas se presentan desde sueltas o cementadas, de grano fino o medio, y con composición mayoritariamente cuarcítica.

Los conglomerados son de cantos de cuarcita y en menor proporción de cuarzo, pizarras y caliza. Están bien redondeados, son relativamente homogéneos y se encuentran normalmente dispersos en la masa menor.

La potencia media de la unidad está comprendida entre los 10 y 20 m.

▫ **Calizas.**

Junto con la unidad anterior forma una megasecuencia sedimentaria.

La litología es de calizas micríticas de colores blancos y blanco-grisáceas, estratificadas en capas que oscilan entre 0,5 y 3 m., a veces con aspecto brechoide. Hacia la base presentan intercalaciones decimétricas de margas blanquecinas.

La unidad se encuentra karstificada a mayor o menor grado con desarrollo de dolinas, "Terra rossa"... etc.

El máximo espesor aflorante es del orden de 15-20 m hacia el N.

### 3.2.3. CUATERNARIO.

La mayor parte de los depósitos cuaternarios está ligados con procesos gravitacionales y con la dinámica fluvial. Destacan las terrazas depositadas por el río Tajo y otros depósitos como son: conos de deyección y fondos del valle.

▫ **Travertinos, tobas calcáreas y arenas.**

Aparecen en relación con las terrazas pleistocenas, como pequeñas representaciones cartográficas entre las que destacan una banda al NO de Almonacid de Zorita, que en las proximidades de Zorita de los Canes se muestran como una caliza franca y compacta de tonos grises.

Se trata de tobas constituidas por restos vegetales calcificados y tubos en posición de vida, en relación con los aportes de los manantiales calcáreos próximos a la Sierra de Altomira.

En la base presentan un nivel de arenas o gravas cementadas.

▫ **Terrazas detríticas, gravas y cantos de matriz arenosa.**

Estos depósitos están relacionados con el río Tajo aunque en la bibliografía se llegan a diferenciar hasta 6 niveles de terrazas, en atención a las que se han podido reconocer sobre el terreno se han agrupado en cuatro niveles.

Estos cuatro niveles se han agrupado en función de la cota a la que se identifican, y su diferenciación litológica.

El primer nivel o terraza inferior es propiamente la llanura de inundación actual, y se extiende entre 1 y 2 m por encima del cauce actual. Está compuesta fundamentalmente de arenas y limos arcilloarenosos.

Los niveles medios se encuentran a cotas entre 10 y 12 m sobre el nivel del río, ocupando una extensión importante.

Están constituidas por cantos silíceos (de cuarzo y de cuarcita) y calcáreos, con un claro predominio de los primeros. Tienen una matriz arenosa y la proporción de finos no es muy elevada.

Los cantos muestran una gran heterometría, el tamaño medio oscila entre 1-6 cm y el centil puede llegar a los 30 cm. Los cantos cuarcíticos tienen una tendencia al aplanamiento mientras que los de cuarzo son esféricos.

Existen zonas arenosas con pasadas de cantos, generalmente cuarcíticos, de pequeño tamaño (2-3 cm). En ellas se observa granoselección negativa. Hay otros tramos arenosos masivos, en los que ocasionalmente se observan estratificación cruzada planar y de surco de pequeña escala y costras calcáreas.

Las terrazas medias incluyen aquellas comprendidas entre 25 y 40 m de altura con respecto al cauce.

Su litología está constituida por cantos silíceos (cuarcíticos y de areniscas) en mayoría respecto a los calcáreos. También hay, aunque escasos, cantos de silex. El tamaño medio de los cantos oscila entre 2-3 cm y el centil es de 30 cm. La matriz es arenosa y la fábrica es matriz-sostenida. Morfológicamente, los cantos son subangulosos

(generalmente los de pequeños tamaño) a redondeados. Hay una cierta tendencia al aplanamiento de cantos aunque menor que en los de los niveles bajos.

Se observan estructuras canaliformes, con lag de cantos en la base y granoselección positiva. También hay estratificaciones cruzadas planares y de surco, de pequeña escala. Hacia el techo de los niveles se observan costras calcáreas.

Las terrazas altas forman el nivel cuya cola se encuentra 50 m por encima de la altura del río. Está constituido por cantos silíceos (de cuarcitas y areniscas) y calcáreos. La matriz es arenosa. En ocasiones hay exclusivamente niveles masivos de arenas arcillosas rojas. El tamaño medio de los cantos oscila entre 0,5 - 2 cm y el centil es de 15 cm. Son subredondeados a redondeados y hay algún canto plano, no observándose ningún tipo de estructura.

◦ **Fondos del Valle. Holoceno.**

Son depósitos que tapizan las partes más bajas de los valles. Están constituidos por materiales aluviales (originados sólo por acción fluvial) y en otras ocasiones con un origen mixto aluvial-coluvial cuando estos materiales se indentan con los desprendimientos de las laderas del propio valle por el que transcurre el arroyo.

En su composición existen pequeñas diferencias litológicas de unos lugares a otros, condicionadas por la naturaleza del área fuente desde la que el río o arroyo comienza a erosionar, así como por los aportes laterales que se añaden en su recorrido.

Normalmente están constituidos por arenas, arcillas y cantos de composición variada en su mayoría, mientras que en otras zonas abundan los elementos yesíferos. El grado de redondeamiento de los cantos varía de unos tramos a otros del río, dependiendo del transporte que hayan sufrido.

◦ **Conos de deyección. Holoceno.**

Estos depósitos aparecen localizados en la desembocadura de la mayoría de los arroyos cuando estos llegan a una zona más llana o a la confluencia con otro río o arroyo de mayor envergadura, donde depositan los materiales que erosionan aguas arriba.

La litología depende de la composición del substrato de las áreas cabecera de los arroyos. Los cantos se encuentran englobados en una matriz constituida por arcilla y algo de arena.

Son depósitos poco desarrollados y de pequeña envergadura, con espesor variable, mayor en las partes apicales y adelgazándose hacia el borde exterior del cono.

◦ **Coloviones. Holoceno.**

Cubren una gran extensión al O de la Sierra de Altomira, y en diferentes áreas de la zona de estudio. Proceden de una erosión de los materiales calizos de Altomira en una posición topográficamente elevada con respecto a las llanuras aluviales.

La litología va a depender de la naturaleza del substrato donde se originan los fragmentos. Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se advierte un predominio de cantos calcáreos heterométricos, aunque también existen cantos silíceos heredados de la “red fluvial intramiocena”. El porcentaje de finos (limos y arcillas) generalmente es alto. Son depósitos poco consolidados y que no presentan estructuras internas.

◦ **Mesas caóticas de bloques, arenas y arcillas. Holoceno.**

Son masas caóticas que se disponen sobre áreas de morfología suave con difícil clasificación entre depósitos de tipo glacis, o simplemente megadeslizamientos caóticos.

Su correlación está en función de los niveles de terraza a los que enrasan.

### 3.3. TECTÓNICA.

La zona tratada se encuadra dentro del sector occidental de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica.

Dicha Cordillera, corresponde a una cadena de tipo intermedio que presenta dos dominios estructurales, el zócalo y la cobertera, ambos bien diferenciados, que condicionan su estilo tectónico. El zócalo está constituido por metasedimentos hercínicos y la cobertura por materiales que se depositaron desde el Triásico Superior-Jurásico al Terciario. Entre ambos dominios se encuentran los materiales triásicos que actúan como un nivel de despegue, dada la naturaleza plástica de algunos de sus tramos (Julivert, et al. 1974).

La superficie cartografiada se incluye dentro del Dominio estructural de la Fosa del Tajo. Este dominio está dividido en dos partes por la Sierra de Altomira, denominándose a la zona E como Depresión intermedia, siendo la O la Cuenca de Madrid.

La cuenca en si constituye un bloque rígido enmarcado por grandes fallas reactivas por la deformación alpina de los sistemas de desgarre NE-SO, y fracturas E-O y N-S producidas durante las últimas fases del plegamiento hercínico.

La sierra de Altomira se origina por efecto del plegamiento de los materiales acumulados, por mediación de esfuerzos tangenciales contra un accidente principal del zócalo alineado según N-S.

Este plegamiento origina una estructura en anticlinorio de los materiales mesozoicos y paleógenos con dirección predominante N-S, con una serie de repliegues en su flanco N, que originan pliegues con flancos rectos que evolucionan a pliegues de rodilla, o pliegues volcados. En ocasiones se da un despegue en el contacto con los materiales paleógenos, originándose frentes de cabalgamiento y pequeñas escamas.

El efecto del plegamiento llega a influir sobre los materiales paleógenos en las proximidades, con los frentes invertidos y/o cabalgados, teniendo su expresión cartográfica en el anticlinal de Sayatón.

Sobre los materiales cretácicos se localiza la discordancia basal terciaria. Esta ruptura con carácter erosivo es coincidente con el levantamiento parcial de la Sierra de Altomira que aportará sedimentos para el relleno de la cuenca, colaborando con el aporte de los macizos periféricos graníticos y paleozoicos.

Posteriormente coincidiendo con la primera fase comprensiva de la Orogenia Alpina se da un cambio en la sedimentación a raíz del levantamiento y deformación de las áreas – fuente marginales. La Sierra de Altomira en esta etapa se acabó de

elevantar y completo su plegamiento, individualizándose y actuando como una importante área fuente de sedimentos.

El ambiente de depósito se corresponde con un abanico aluvial húmedo, controlado por estructuras de orientación N-S, y que origina una serie compuesta de materiales arcillosos lutíticos con intercalaciones de areniscas canalizadas, en ocasiones gravas, y frecuentes episodios de abandono de canal. Las variaciones en el gradiente hidráulico originarán variaciones en la sinuosidad de los canales, y del depósito.

En el contacto con los materiales suprayacentes se localiza la primera discordia que se ha situado al límite Paleógeno-Neógeno, si bien podría también situarse a principios del Mioceno. Esta primera ruptura se muestra como una suave discordancia angular, con buzamiento comprendidos entre 8 y 12°.

Dentro del Mioceno se aprecia otra ruptura importante conformando la discordancia progresiva entre la unidad anterior, arcillas yesíferas y yesos, y la unidad compuesta por arcillas, areniscas y margas.

La unidad se dispone subhorizontalmente con un buzamiento regional próximo a los 2 – 4°.

Esta etapa se relaciona con un ambiente de abanicos aluviales húmedos, coalescentes con carácter progradante. Los sistemas de abanicos aluviales están igualmente controlados estructuralmente dándose una sobreimpresión en las zonas apicales de los abanicos de la Unidad Neógena sobre los de la Unidad Paleógena existiendo entre ambos una discordancia angular erosiva.

Así mismo en esta época se da un cambio decisivo en las características litológicas y situación paleogeográfica del área fuente, que pasará de ser paleozoica y granítica, a un área fuente mesozoica con un aporte de sedimentos de origen químico o detrítico (arcillas, margas y evaporitas).

La tercera discordancia de orden mayor se da en el mioceno superior, entre el nivel de calizas y margas (antiguamente calizas Pontienses) en el que tras un cambio en las condiciones climáticas y un marcado periodo erosivo se depositan materiales terrígenos groseros. (Véase Fig. 3.3-1.)

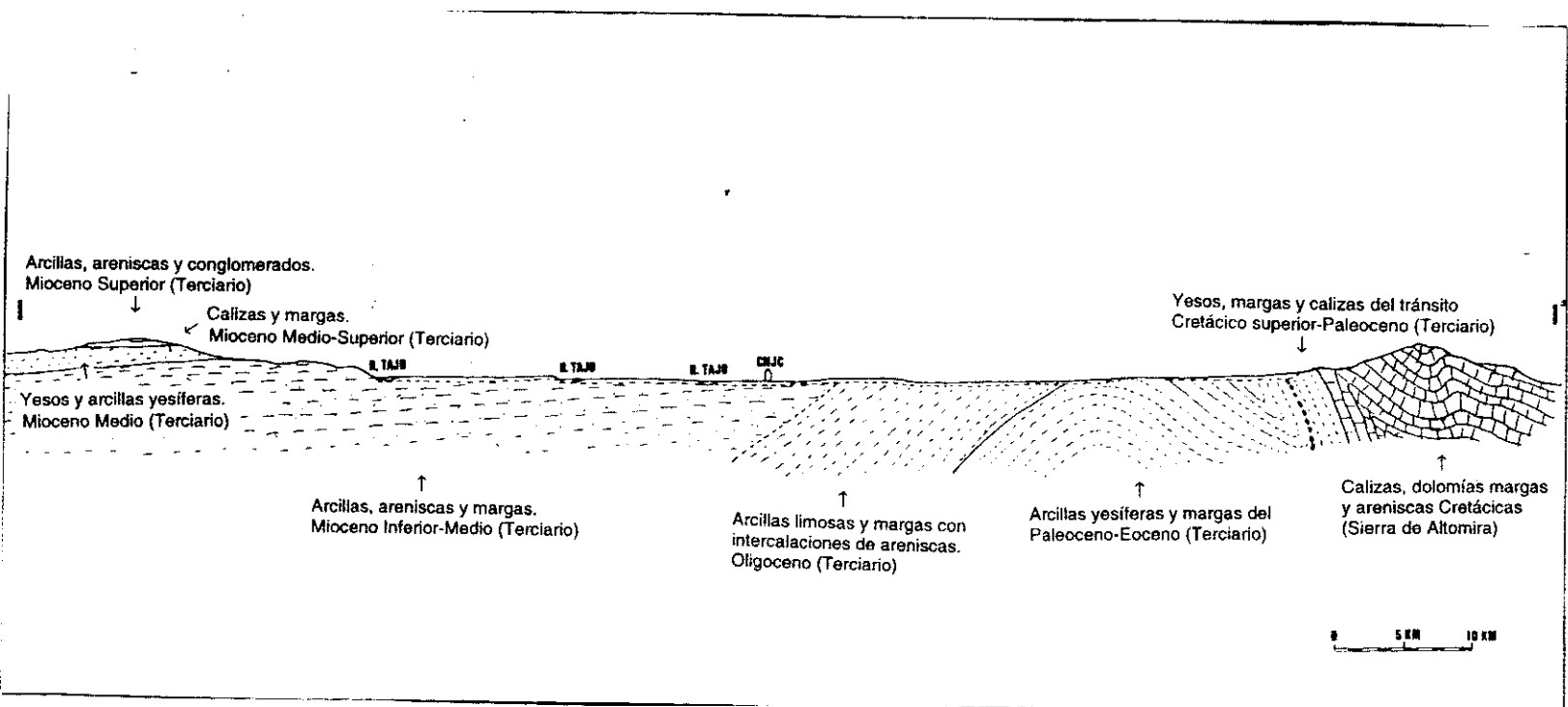


Figura.3.3-1. Esquema Estructural de la Zona.

### 3.4. HIDROLOGIA.

#### 3.4.1. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.

La zona de estudio se enmarca en el área oriental de la cuenca del Tajo.

La cuenca hidrográfica regional constituye una unidad geográfica delimitada por la divisoria del Duero al N, las cuencas del Ebro y Júcar al E, la cuenca del Guadiana al sur de la unidad y una zona mal definida endorreica al E.

La Sierra de Altomira constituye la divisoria natural en el borde E de la zona de estudio.

El curso de agua por excelencia es el Río Tajo que se encuentra regulado por varios embalses: Entrepeñas, Buendía, Bolarque, Zorita, Almoquera, Estremera.... (Véase figura 3.4.1-1.).

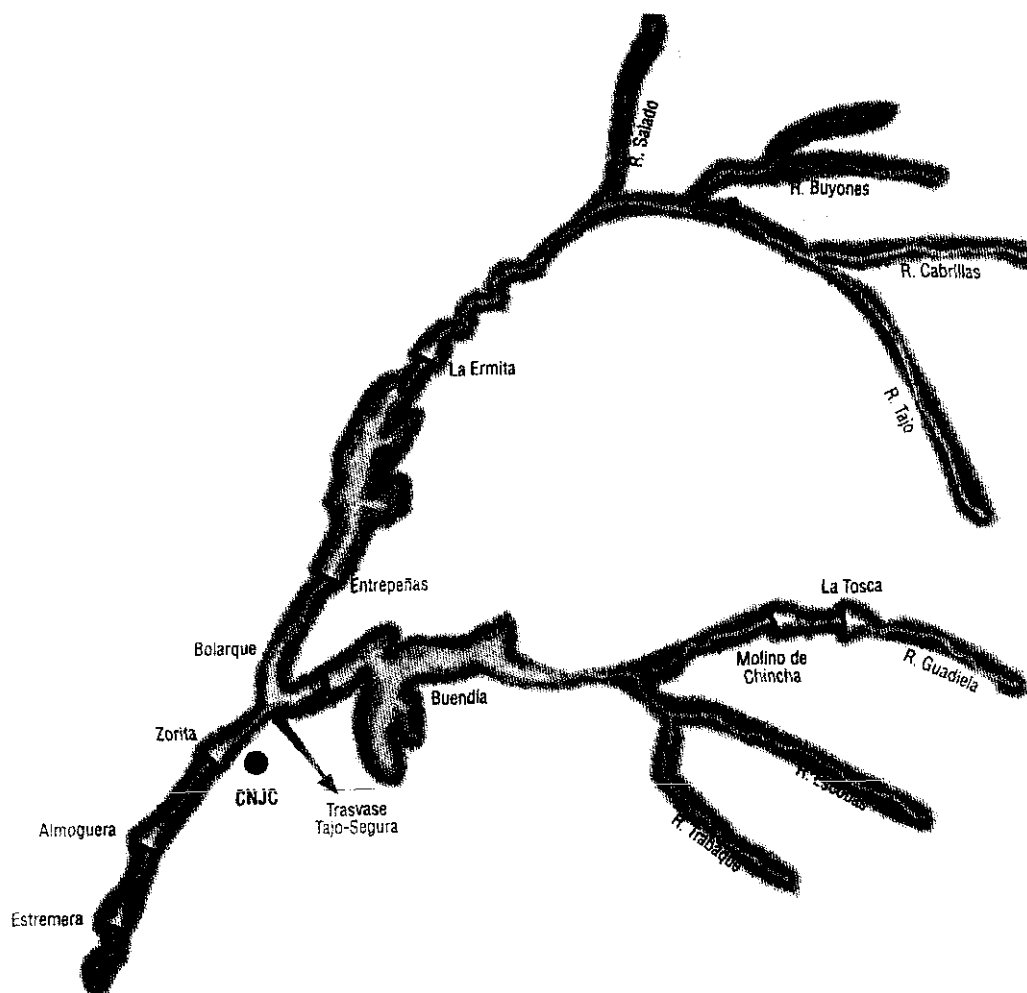


Figura 3.4.1-1. Embalses de la Cuenca Alta del Tajo.



queque se drenan a través del acuífero al Tajo y al embalse de Bolarque situado aguas abajo.

El acuífero funciona pues con una recarga en parte debida a los embalses y en parte a la infiltración de la lluvia. Existe además otra adicional, por drenaje diferido, de aguas subterráneas desde el Terciario al Mesozoico. La descarga se produce por el Río Tajo, por el embalse de Bolarque y en parte, como aguas subterránea entre ambas se considera incluida dentro de la del Tajo, entre Illana y Mazarulleque.

Además parte del drenaje se efectúa a través de diversas fuentes y manantiales localizados en las poblaciones de Almonacid de Zorita y Albalate de Zorita (unos 15-20 l/seg).

La calidad del agua es variable, en función de la distinta permanencia en el acuífero, por lo que presenta valores de conductividad entre 250 y 2000  $\mu\text{mhos/cm}$ .

El sistema acuífero, al estar conectado hidráulicamente con los pantanos de Entrepeñas y Bolarque, ve elevado su nivel piezométrico incrementando sus reservas y aumentando por tanto la capacidad de regulación de estos, ya que originan una mayor capacidad de embalse. En parte podría explotarse con sondeos en el Terciario situado al Este y ubicados próximos al contacto. Igualmente podría forzarse, con extracciones situadas en el Sur, la circulación subterránea que actualmente se dirige hacia el Guadiana, de forma que fuese utilizable en la cuenca del Tajo.

En cuanto a los materiales Terciarios, pueden llegar a desarrollar pequeños acuíferos en general aislados, restringidos a los niveles arenosos de cierta entidad, presentando en conjunto una permeabilidad baja.

Las formaciones miocenas, sobre todos en los pisos inferiores y medios pueden considerarse en la práctica impermeables en función de sus litologías eminentemente arcillosas y salinas. Los niveles areniscosos tienen una entidad aun menor, siendo muy limitados en extensión y por lo general aislados.

Unicamente las calizas miocenas pueden desarrollar un acuífero kárstico, aunque muy limitado por su posición topográfica colgada. En el contacto con su base permeable son abundantes los pequeños manantiales con aguas ligeramente duras.

En los materiales cuaternarios, las tobas y travertinos próximos a Zorita de los Canes y Almonacid configuran un acuífero de tipo mixto poroso-kárstico, pero dada su limitada extensión no aportan caudales significativos.

En el embalse de Bolarque desemboca el Río Guadiela, regulado por la presa de Buendía. Por lo tanto, la salinidad del agua en el embalse de Zorita, depende de las aportaciones controladas de los embalses de Entrepeñas y Buendía.

Como arroyos de cierta entidad destacan el río Arlés con marcada dirección N-S hasta Pastrana y pequeños arroyuelos como el de Barbales y el del Val.

El relieve de la zona presenta una serie de barrancos y cárcavas resultantes de la erosión del agua superficial sobre terrenos blandos poco permeables y con escasa vegetación, que presentan por tanto condiciones ideales para la acción erosiva de las lluvias, principalmente en los primeros estadios de la precipitación.

El agua de lluvia circula superficialmente como arroyada erosiva durante tramos cortos hasta alcanzar cauces mayores y terminar finalmente incorporándose al Río Tajo.

#### 3.4.2. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.

En términos regionales la zona sobre la que se emplaza la Central Nuclear José Cabrera no constituye un verdadero acuífero, dada la naturaleza poco permeable de los materiales predominantes (arcillas y sales). Su interés desde el punto de vista del recurso queda restringido a niveles detríticos arenosos locales o las unidades cuaternarias, particularmente los depósitos aluviales o coluvionares en relación con Río Tajo y la Sierra de Altomira.

La Sierra de Altomira se encuadra en el sector oriental del sistema acuífero nº 19 según los límites establecidos por el ITGE 1971 para la cuenca del Tajo, y se desarrolla fundamentalmente a partir del Embalse de Entrepeñas en dirección Sur.

La superficie del acuífero es de aproximadamente 175 Km<sup>2</sup>, la mayoría constituido por calizas cretácicas y el resto por materiales Jurásicos y Terciarios.

Se puede diferenciar el acuífero jurásico del cretácico a través de un nivel de facies Utrillas que actúa como acuitardo. Las diferentes fracturas y escamas del macizo las pone en contacto, por lo que a todos los efectos se considera un acuífero kárstico único.

Este sistema está conectado en la zona Norte del embalse de Entrepeñas, en donde se producen unas pérdidas del orden de 80 Hm<sup>3</sup>/año

Los coluviones funcionan como pequeños acuíferos de ladera, aunque su matriz arcillosa hace que la permeabilidad de los materiales sea en general media o baja, y únicamente aportan pequeños caudales estacionales.

Las terrazas aluviales constituyen en general un acuífero por porosidad intergranular de media a alta permeabilidad, en función de la naturaleza más arenosa, no cementada, salvo algunos tramos de la base. Su permeabilidad es alta como lo demuestra la estacionalidad de los manantiales a los que da origen, y la influencia de los regadíos sobre los mencionados manantiales, así como en la calidad de sus aguas, que en algún caso presentan cierta contaminación por pesticidas, como puede ser el punto de interés hidrogeológico nº 3. (Capítulo III).

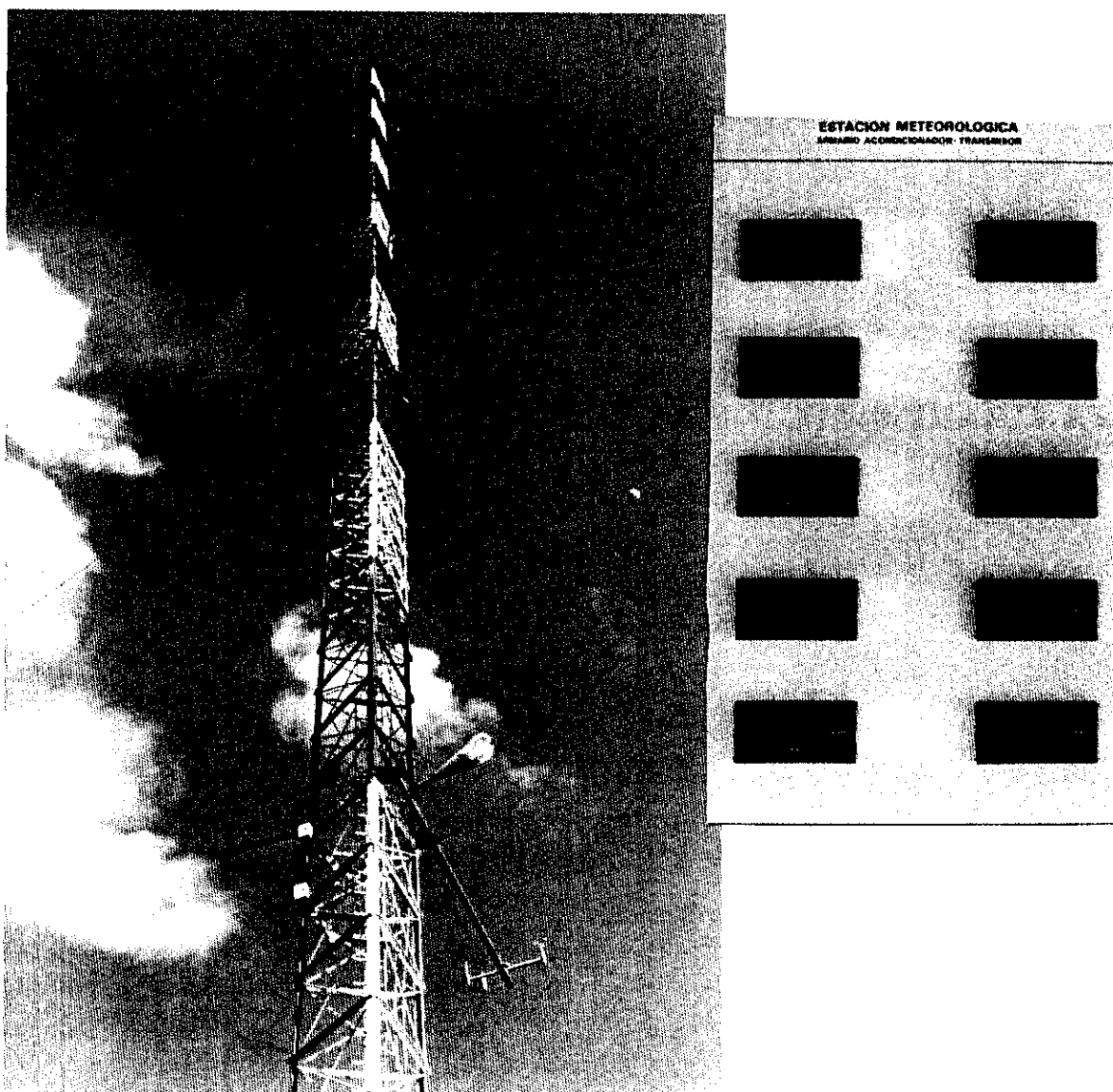
Los niveles de terrazas superiores presentan una permeabilidad menor en parte debido a su matriz limo arenosa y también por su mayor cimentación debido a la presencia de cemento carbonatado.



Central Hidráulica de Bolarque.

## 4 CLIMATOLOGIA

Se dispone de información meteorológica de la zona desde los años 60 hasta la actualidad recogida tanto a nivel regional en las estaciones de Guadalajara, Salto de Entrepeñas, Salto de Buendía, Molina de Aragón y Cifuentes, como a nivel local en la CNJC y los Saltos de Bolarque y Zorita.



Torre principal meteorológica de C.N.J.C.

#### 4.1. PRECIPITACIONES.

La cantidad media de agua recibida en la zona durante este periodo de tiempo es de 449 mm/año.

En relación a los últimos años destaca 1994 como el año más seco con 287,4 mm y 1996 como año lluvioso alcanzándose los 510,9 litros por metro cuadrado.

En cuanto a la distribución mensual de precipitaciones, las medias se presentan en la tabla adjunta y figura 4.1-1.

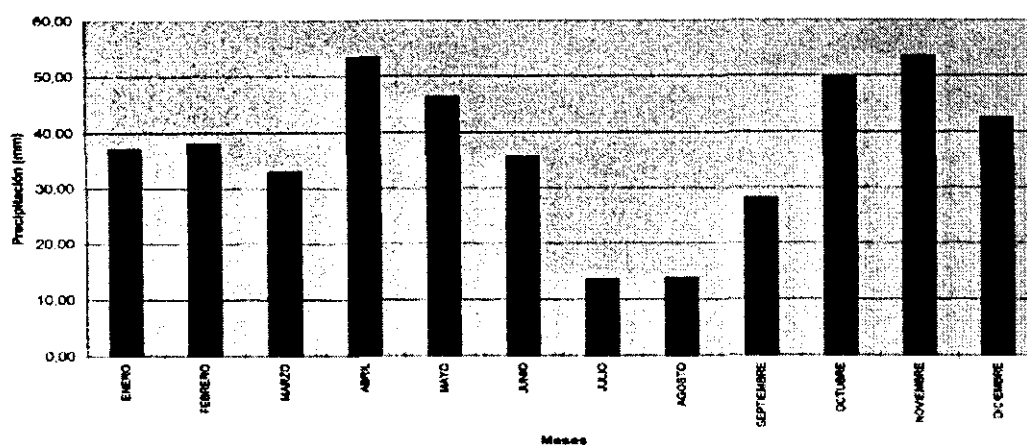


Figura 4.1-1. Precipitaciones medias mensuales en la zona de la C.N.J.C.

Precipitaciones medias mensuales (mm)	
Enero	37,14
Febrero	38
Marzo	32,99
Abril	53,32
Mayo	46,36
Junio	35,68
Julio	13,58
Agosto	13,76
Septiembre	28,13
Octubre	49,93
Noviembre	53,48
Diciembre	46,79
<b>TOTAL</b>	<b>449,16</b>

Las lluvias se distribuyen desigualmente a lo largo del año, de manera que se pueden diferenciar tres periodos en función del agua caída:

- i) **Meses de lluvia abundante:** abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre.
- ii) **Meses de lluvia moderada:** enero, febrero, marzo, junio y septiembre.
- iii) **Meses de lluvia escasa:** julio y agosto.

#### 4.2. TEMPERATURA.

Las temperaturas medias son suaves 14,29 °C, siendo muy ligeras las diferencias entre los distintos años. Sin embargo la variación entre las medias mensuales es mucho mayor, como se aprecia en la siguiente figura 4.2-1 y tabla adjunta:

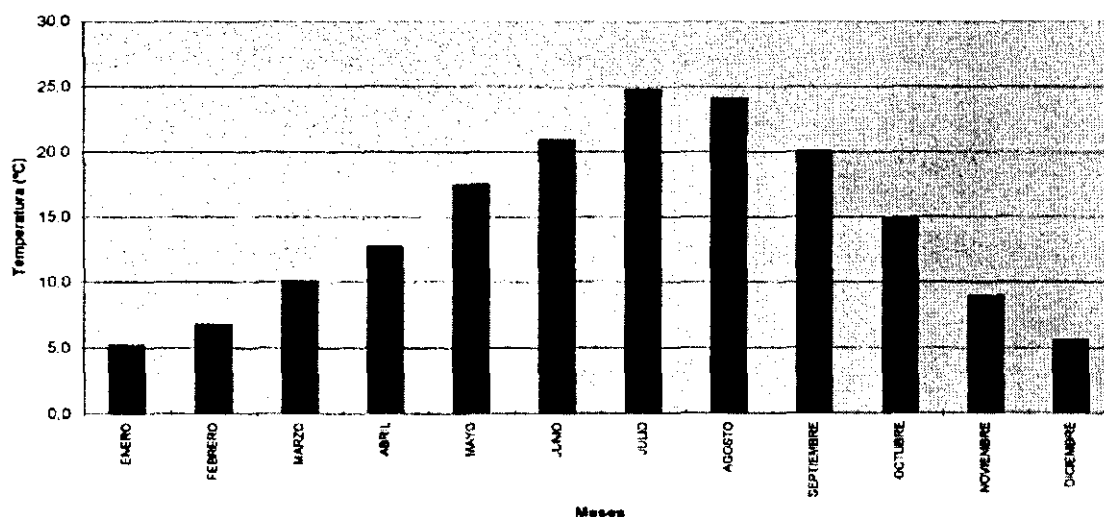


Figura 4.2-1. Temperaturas medias mensuales en la zona de la CNJC.

Temperaturas medias mensuales (°C)	
Enero	5,19
Febrero	6,79
Marzo	10,06
Abril	12,71
Mayo	17,47
Junio	20,92
Julio	24,78
Agosto	24,12
Septiembre	20,05
Octubre	14,88
Noviembre	8,93
Diciembre	5,58

Se produce una oscilación media máxima de 19,59 ° C entre las temperaturas medias de julio (máxima) y enero (mínima).

Se distinguen dos períodos con temperaturas medias muy contrastadas:

- i) **Meses fríos: noviembre, diciembre, enero y febrero.**
- ii) **Meses cálidos: junio, julio, agosto y septiembre.**

De esta forma la temperatura se distribuye de manera regular a lo largo del año que comienza con unos meses fríos a partir de los cuales va ascendiendo la temperatura hasta un máximo en verano, para luego descender de manera regular a final de año.

Estas variaciones mensuales de las temperaturas influyen en los valores de la evapotranspiración.

---

## 5 MODELIZACIÓN DEL FLUJO Y TRANSPORTE

---

Se entiende por modelización, todo procedimiento que permite simular el comportamiento de un fenómeno físico. En hidrogeología es una herramienta imprescindible dada la complejidad de estos fenómenos.

### 5.1. OBJETIVOS DEL MODELO.

Con la realización de un modelo se persigue verificar las hipótesis formuladas en los estudios tradicionales realizados, y por otra parte, se intenta predecir el comportamiento de un cierto sistema cuando se llevan a cabo una serie de alternativas de explotación o bien si se producen variaciones en las condiciones de alimentación y descarga del sistema.

El modelo debe considerarse únicamente como una herramienta de trabajo, con todas sus limitaciones. Su fiabilidad está determinada por el sistema de modelización empleado y por los datos disponibles.

En la presente tesis veremos que se han elegido códigos de cálculo para realizar los modelos, suficientemente experimentados y aceptados internacionalmente para la resolución de problemas con la complejidad del que nos ocupa.

### 5.2. TIPOS DE MODELOS.

Atendiendo a la metodología que emplean en la resolución de la simulación de fenómenos, pueden ser,

- i) ***Analíticos.***
- ii) ***Analógicos.***
- iii) ***Numéricos o matemáticos.***
- iv) ***Reales a escala reducida.***

#### ▫ Modelos Analíticos

Los modelos analíticos utilizan como método de resolución la integración directa de la función matemática que cumple el fenómeno físico que se quiere modelizar, como por ejemplo la ecuación del flujo subterráneo de un acuífero, con lo que obtienen una función analítica que relaciona los distintos parámetros físicos de que depende el fenómeno que se modeliza con el espacio y el tiempo.

En el caso de los modelos de flujo subterráneo, la ecuación analítica que se obtiene es del tipo:

$$H = f(x, y, z, t, T, S, Q)$$



siendo:  $H$  = Piezometría,  $T$  = Transmisividad,  $S$  = Coeficiente de Almacenamiento y  $Q$  = Caudales de alimentación / descarga en el punto  $(x, y, z)$  y en el instante  $t$ .

Dada la complejidad de la mayor parte de los fenómenos físicos que se estudian en Hidrogeología, estos modelos usan casi exclusivamente para el estudio de casos teóricos sencillos.

▫ **Modelos Analógicos.**

Los modelos analógicos se basan en la similitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno físico que se quiere modelizar, con las que rigen otros fenómenos físicos mejor conocidos y fácilmente representables en forma de maquetas.

Los fenómenos físicos auxiliares más utilizados para la construcción de este tipo de modelos son los eléctricos y los térmicos.

Este tipo de modelos, muy en boga en los años cincuenta y sesenta, han sido abandonados paulatinamente, estando en la actualidad en desuso.

▫ **Modelos Numéricos o Matemáticos.**

Los modelos Numéricos o Matemáticos emplean como método de resolución la aproximación por incrementos de la ecuación diferencial del fenómeno físico que se quiere modelizar, con lo que se llega a una solución algebraica numérica del problema.

Este tipo de modelos es el más utilizado en la actualidad debido a la potencia de cálculo de los modernos ordenadores.

▫ **Modelos Reales a Escala Reducida.**

Como su nombre indica, este tipo de modelo supone la réplica exacta de las condiciones del fenómeno físico que se quiere investigar, a una escala mucho menor que la real.

Este tipo de modelos, muy utilizados en hidrología de presas y canales y en aeronáutica, tiene escasas aplicaciones en hidrogeología por la dificultad que presenta la reproducción de las condiciones físicas de los acuíferos.

Tal y como se decía, el tipo de modelos más utilizados actualmente son los numéricos, y son los que se han seleccionado para el presente trabajo.

### 5.3. MODELIZACIÓN DEL FLUJO.

#### 5.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

La roca es un sistema complejo integrado por:

- partículas minerales sólidas, que constituyen su cuerpo o esqueleto
- espacios entre las partículas, de forma, dimensiones y origen diferentes (poros, oquedades y fisuras).

Es en estos espacios entre las partículas minerales donde se introducen soluciones de fluidos, ya sean líquidos o gaseosas. Por tanto, para definir el medio poroso se deben estudiar principalmente dos propiedades de las rocas, una física, la porosidad, que podemos definir como una magnitud que mida la mayor o menor existencia y variedad de poros u oquedades en la roca, y otra hídrica, como es la permeabilidad o propiedad de las rocas de dejar pasar a través de sí un fluido debido a la existencia de diferentes presiones.

Estas propiedades del medio poroso deben ser descritas a través del establecimiento de un modelo que cuantifiquen alguna variable o propiedad propia del medio y a su vez describa los procesos físicos. Para ello, se utiliza una descripción macroscópica consistente en asociar a cada punto del espacio un volumen elemental representativo, de forma que la porosidad o permeabilidad en ese punto sea la media en ese volumen que lo rodea. La adopción de esta descripción macroscópica implica una extensión del dominio de estas propiedades pasando de ser puntuales a ser medias o integrales para ese volumen anteriormente definido.

El agua subterránea representa uno de los aspectos del ciclo cerrado de condensación y evaporación constante a que está sometida el agua en la corteza terrestre. Se forma directamente por la lluvia y deshielo que penetran en el terreno o a través del agua de superficie de los ríos, lagos y océanos en un fenómeno conocido como infiltración.

Con respecto al problema del flujo que nos ocupa, hay que considerar las siguientes dos zonas:

- Flujo de agua en zona saturada, entendiendo por zona saturada aquella en la que todos los poros de la roca se encuentran inundados por agua. En ella se da la mayor parte del flujo regional. Su límite superior es la superficie de saturación o freática.
- Flujo de zona no saturada, o de aireación según otros autores, es decir en zonas en las que los poros interconectados no se encuentran totalmente llenos de agua, sino que tienen gases y aire además del agua y son debidas a la percolación según la componente del gradiente en la dirección vertical por efecto de la gravedad.

A partir de estas consideraciones se puede decir que los acuíferos reaccionarán según circunstancias hidráulicas y estructurales de tres formas diferentes:

- **Acuíferos libres o freáticos.** Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. El agua que ceden es la que tienen almacenada en sus poros. La superficie del agua está a la presión atmosférica.
- **Acuíferos cautivos o confinados.** Son aquellos que están completamente aislados, es decir rodeados totalmente por materiales permeables. El nivel del agua está por encima del techo del material acuífero. Están a presión debido al peso de los materiales impermeables superiores y el agua que ceden es por la descompresión de dichas capas al producirse la depresión del acuífero. En la naturaleza no existen acuíferos totalmente cautivos, debido a que los materiales capaces de aislarlos no son absolutamente impermeables, pero hay diferentes casos que pueden tomarse como tales a efectos prácticos.
- **Acuíferos semiconfinados.** En este caso, los materiales que los rodean no son todos permeables, es decir en alguno de sus lados geométricos existen materiales permeables o al menos semipermeables. Así el paquete superior formado por materiales semipermeables permite el paso del agua del acuífero superior al inferior semiconfinado.

En el caso del acuífero confinado y semiconfinado la variable física observable es la altura piezométrica (como presión hidrostática), mientras en el caso del acuífero libre esta variable es el nivel del agua propiamente dicho, es decir el nivel freático.

El flujo de agua se produce por gradientes de presión entre los distintos puntos del acuífero, de los puntos de mayor a los de menor potencial.

### 5.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE FLUJO HIDROGEOLÓGICO.

Las ecuaciones de flujo para cualquier tipo de acuífero se obtienen a partir de dos principios:

- Principio de Continuidad.
- Ley de Darcy.

#### 5.3.2.1. Principio de continuidad.

El principio de continuidad implica la conservación de la masa de agua, que puede expresarse según:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot u_1)}{\partial x_1} = 0 \quad (1)$$

en donde:

$\rho$  = densidad

$x_1$  = coordenadas

$u_1$  = velocidad

La ecuación diferencial que rige este principio se puede obtener realizando el balance de agua en un volumen elemental de control (figura 5.3.2.1.). Considerando un intervalo de tiempo (t, t+Δt) el flujo total entrante en el volumen de control  $m\Delta x\Delta y$  será la suma del agua almacenada en el interior del volumen estimada con un coeficiente de almacenamiento, S, y el flujo saliente del volumen. Realizando una formulación de lo anteriormente expuesto llegamos a una expresión:

$$\begin{aligned} \Delta t [m\Delta y u_x(x + \Delta x) - (m\Delta y u_x(x)) + (m\Delta x u_y(y + \Delta y)) - (m\Delta x u_y(y)) + q \cdot \Delta x \cdot \Delta y] = \\ = S \cdot \Delta x \cdot \Delta y (h(t + \Delta t) - h(t)) \end{aligned} \quad (2)$$

donde:

S = coeficiente de almacenamiento.

q = caudal entrante por unidad de superficie.

m = espesor del acuífero.

h = altura piezométrica.

El coeficiente de almacenamiento, S, expresa la cantidad de agua que puede ser almacenada adicionalmente por compresibilidad en una columna de un acuífero de sección unidad, es decir,  $\Delta x = \Delta y = 1$ ; y altura, m, si la altura piezométrica, h, aumenta en una unidad.

Dividiendo la ecuación (2) entre  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta t$  y pasando al límite haciendo tender a cero estos incrementos se obtiene la expresión:

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \text{div}(m \cdot u) + q \quad (3)$$

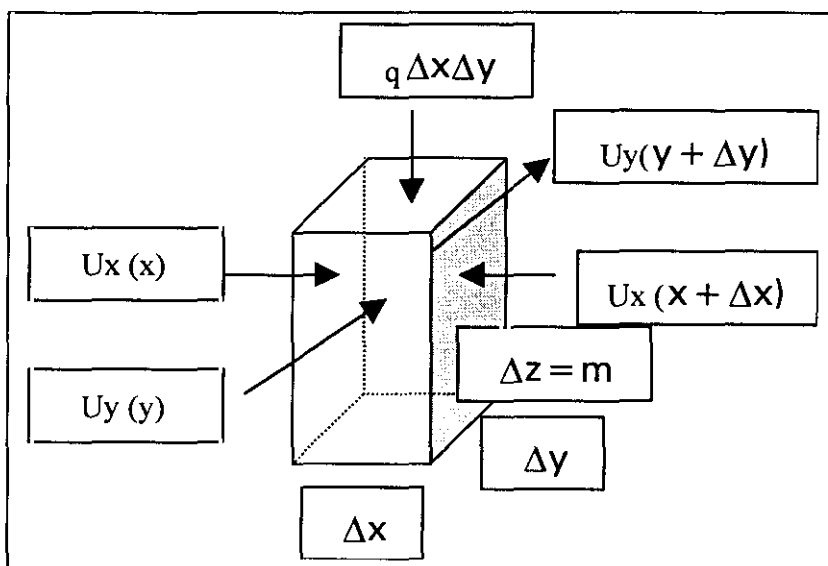


Figura 5.3.2.1. Volumen de control de flujos entrantes y salientes

### 5.3.2.2. Ley de Darcy.

En 1856, el físico y naturalista francés Darcy, estableció una relación para definir el movimiento del agua en un medio poroso.

La ley de Darcy se puede expresar como:

$$u = -K \cdot \nabla h \quad (4)$$

en donde:

$u$  = velocidad.

$K$  = permeabilidad.

$h$  = altura piezométrica.

Cuando se trata de un medio poroso anisótropo bidimensional, esta expresión viene dada por,

$$\vec{u} = \vec{K} \cdot \vec{\nabla} h \quad (5)$$

siendo:

$$K = \begin{pmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{pmatrix}$$

La permeabilidad,  $K$ , se expresa en forma de tensor de segundo orden, permitiendo esto reflejar el caso de un acuífero anisótropo, donde la dirección de flujo puede ser diferente de la dirección del gradiente piezométrico.

### 5.3.2.3. Ecuación diferencial general.

Introduciendo la ley de Darcy en la ecuación anteriormente calculada, al aplicar el principio de conservación de la cantidad de agua (3) se obtiene la siguiente expresión.

$$\vec{\nabla} \cdot (m.K.\vec{\nabla}h) + q = S.\frac{\partial h}{\partial t} \quad (6)$$

o también:

$$\vec{\nabla} \cdot (T.\vec{\nabla}h) + q = S.\frac{\partial h}{\partial t} \quad (7)$$

Donde  $T$  es la transmisividad y representa el producto de la permeabilidad del medio por el espesor del acuífero.

La expresión (7) es válida para los casos en los que el acuífero es confinado ya que en estos la transmisividad es sólo función de la posición. Sin embargo esta expresión es fácilmente extensible a los demás tipos de acuífero:

- **Acuífero freático.** En este caso la transmisividad es función de la altura, variando la posición  $m = h - b$ , según el espesor saturado y donde  $b$  es la elevación sobre el fondo impermeable. También a diferencia del acuífero confinado donde  $S$  representa el almacenamiento de agua por compresibilidad, en el caso de ser libre este valor se puede sustituir por la porosidad efectiva del terreno, llegando con todas estas consideraciones a la expresión:

$$\vec{\nabla} \cdot ((h - b).T.\vec{\nabla}h) + q = n_e.\frac{\partial h}{\partial t} \quad (8)$$

- **Acuífero semiconfinado.** En este tipo de acuífero es necesario añadir el intercambio por goteo que se produce con los acuíferos superior o inferior; como este flujo entre acuíferos vecinos es proporcional a la diferencia entre alturas  $(h_1 - h)$  y  $(h_2 - h)$ , podemos expresar:

$$\bar{\nabla} \cdot (T \cdot \bar{\nabla} h) + q + 1_1(h_1 - h) + 1_2(h_2 - h) = S \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (9)$$

siendo:

$1_i = \frac{K_i}{d_i}$  el factor de goteo, con  $K_i$  la permeabilidad del estrato  $i$  y  $d_i$  el espesor de la capa semipermeable.

En esta expresión se suponen conocidas las alturas  $h_1$  y  $h_2$ . Sin embargo, se puede expresar para el caso en que no sean conocidas de una forma análoga al caso del acuífero principal, obteniendo un sistema de ecuaciones acopladas en  $h(x,t)$ . Si se considera el caso de un acuífero superior freático y uno inferior semiconfinado el sistema de ecuaciones anteriormente citado sería de la forma:

$$A. \text{ Superior: } \bar{\nabla} \cdot ((h_1 - b_1) \cdot T \cdot \bar{\nabla} h_1) + q_1 - 1_1(h_1 - h) = n_c \cdot \frac{\partial h_1}{\partial t} \quad (10)$$

$$A. \text{ Principal: } \bar{\nabla} \cdot (T \cdot \bar{\nabla} h) + q + 1_1(h_1 - h) + 1_2(h_2 - h) = S \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (11)$$

$$A. \text{ Inferior: } \bar{\nabla} \cdot ((h_2 - b_2) \cdot T \cdot \bar{\nabla} h_2) + q + 1_2(h_2 - h) = S \cdot \frac{\partial h_2}{\partial t} \quad (12)$$

La diferencia de alturas que gobierna esta recarga es la diferencia de presión existente entre el nivel subterráneo y el nivel correspondiente al aporte de agua. El término de intercambio se determina como un flujo por unidad de superficie:

$$q_r = \frac{(h_r - h)}{d} = 1(h_r - h) \quad (13)$$

en donde:

$d$  = espesor de la capa semipermeable.

$1$  = factor de goteo.

En cambio si el nivel del agua subterránea cae por debajo de un río, el flujo de entrada se hace independiente de éste nivel, siendo en este caso las diferencias que gobiernan el flujo, la altura de la superficie del nivel del agua del río y el fondo del río lecho filtrante.

$$q_r = \frac{(h_r - h)}{d} = 1(h_r - b_r) \quad (14)$$

#### 5.3.2.4. Condiciones iniciales y de contorno.

La ecuación en derivadas parciales (7) que describe el flujo de aguas subterráneas es de tipo parabólico. Para resolver este tipo de ecuaciones se necesitan establecer unas condiciones iniciales para  $t=t_0$  en el dominio de modelización  $\Omega$ , que pueden ser los valores de las alturas piezométricas en ese instante de tiempo  $h(x,t_0)$ . Así mismo son necesarias unas condiciones de contorno en la frontera  $\Gamma$  del dominio citado anteriormente. Estas condiciones de contorno son principales de tres tipos:

- Condiciones tipo Dirichlet. Fijan el valor de la altura piezométrica,  $h$ , a lo largo de la frontera del dominio. Para que la unicidad de la solución del problema en el dominio puede ser garantizada debe existir al menos una condición de contorno de este tipo.
- Condiciones tipo Newmann. Especifican el valor del flujo en la frontera  $\Gamma$ :  $\frac{\partial h}{\partial n}|_{\Gamma}$ . Un caso especial de este tipo de condición de contorno es el de impermeabilidad, donde el flujo es cero.
- Condiciones tipo Cauchy. Es una combinación lineal de los dos tipos anteriores; un ejemplo sería el caso de frontera semipermeable.

#### 5.4. MODELIZACIÓN DEL TRANSPORTE.

El transporte de sustancias o energía en un acuífero está asociado al flujo del agua en medio poroso. Se puede distinguir en función del tipo de sustancias transportadas entre:

- Transporte de sustancias sólidas o líquidas miscibles en el agua (flujos monofásicos).
- Transporte de fluidos inmiscibles en agua (flujos polifásicos).
- Transporte de calor o energía.



### 5.4.1. TRANSPORTE DE SUSTANCIAS MISCIBLES.

Se denominan sustancias miscibles a aquellas que no constituyen una fase móvil diferente de la líquida situada en medio poroso, y que pueden modificar eventualmente las propiedades físicas y químicas de la concentración de la fase líquida original, como la densidad. Se puede englobar en este tipo de sustancias los elementos incluidos en compuestos químicos eléctricamente neutros como los coloides.

La variable principal del problema de transporte, para cada una de las sustancias que se encuentran en el fluido, será la concentración volumétrica.

### 5.4.2. MECANISMO DE TRANSPORTE DE SUSTANCIAS CONSERVATIVAS.

En la presente tesis se va a estudiar el caso de transporte de sustancias conservativas, que son aquellas que se pueden definir como sustancias que no sufran ninguna interacción con la fase inmóvil del medio poroso, sin que por tanto se produzca pérdida de masa.

Estas partículas o elementos miscibles disueltas en cantidades lo suficientemente pequeñas para no modificar el movimiento del fluido, se moverán según los siguientes tres mecanismos fundamentales:

#### 5.4.2.1. Convección.

Este es el mecanismo que describe el arrastre de los elementos por la corriente de agua en el medio poroso. La velocidad media  $\bar{u}$  a la que se desplazará la partícula será lógicamente la obtenida en la resolución del problema de flujo con la ley de Darcy.

Considerando un volumen elemental  $V$ , que tiene por frontera exterior  $\Sigma$  el flujo másico entrante en el elemento a través de la frontera se expresa por medio de la fórmula de Ostrogadski:

$$\phi_c = - \int_{\Sigma} C \bar{u} \cdot n \, d\sigma = - \int_V \text{div}(C \bar{u}) \, d\Omega \quad (1)$$

donde  $n$  es el vector normal exterior a  $\Sigma$ . La velocidad real del movimiento del agua en los poros vendrá dada por:

$\bar{U} = \frac{\bar{u}}{W_c}$  con  $W_c$  = Volumen de agua /Volumen total de la roca en el volumen V.

La porosidad cinemática  $W_c$  dependerá del elemento transportado y del medio poroso considerado, siendo una medida del porcentaje móvil del fluido contenido en el medio poroso.

#### 5.4.2.2. Difusión molecular.

La difusión molecular es un fenómeno físico ligado a la agitación molecular de las partículas miscibles en el seno del agua contenida en el medio poroso, afectando tanto a la fracción móvil como a la inmóvil. El flujo másico de partículas en un fluido en reposo en un medio poroso está descrito por la ley de Fick:

$$\Phi_d = -d.\nabla C \quad (2)$$

siendo  $d$  el coeficiente de difusión molecular en un medio poroso dependiente del tipo de partícula y de la matriz rocosa considerada, tomando valores del orden de  $1.0 \cdot 10^{-10}$  [m<sup>2</sup>/s]. Debido a esto, este mecanismo es de poca importancia respecto a los otros dos (excepto en circulaciones extremadamente lentas de agua).

El flujo a través de la frontera exterior  $\Sigma$ , cuya normal es  $n$ , del volumen elemental de medio poroso  $V$  debido sólo a la difusión molecular, se puede escribir a partir de la fórmula de Ostrogradski como:

$$\bar{\Phi}_d = \int_{\Sigma} (\bar{\Phi}_d \cdot n) d\sigma = - \int_V \text{div}(w \bar{\Phi}_d) d\Omega = \int_V \text{div}(w \cdot d \cdot \text{gra } dC) d\Omega \quad (3)$$

en donde aparece la porosidad total  $w$  por ser el flujo difusivo nulo sobre la parte sólida del medio poroso.

### 5.4.2.3. Dispersión mecánica.

Esta dispersión es introducida en el fenómeno con vistas a mejorar la representación del arrastre del soluto por el campo de velocidades real, en general desconocido, del fluido en el medio poroso. Este campo de velocidades se representa en el mecanismo convectivo mediante la velocidad de Darcy  $\bar{u}$ , que es una velocidad media ficticia, pero es la única que se puede medir macroscópicamente.

Este flujo representa las variaciones microscópicas de la velocidad. Estas variaciones, representadas en la figura 5.4.2.3., son debidas principalmente a tres causas:

- Cambio del tamaño del poro.
- Variaciones dentro del perfil de velocidades en cada poro.
- Líneas de corriente sinuosas entre los granos del terreno.

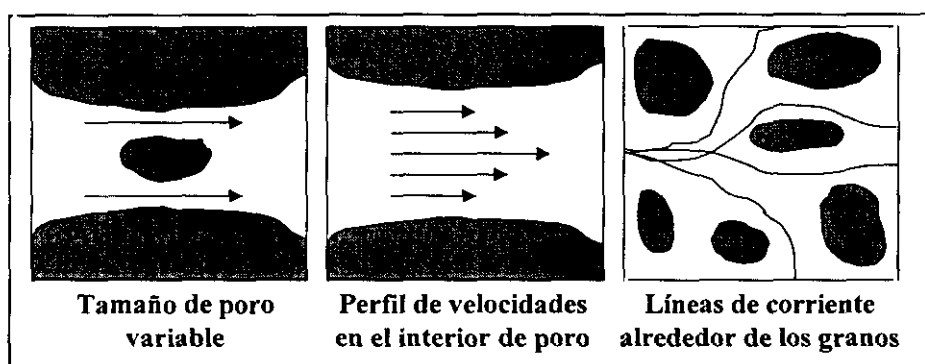


Figura 5.4.2.3. Causas de la variación microscópica de la velocidad.

La descomposición del arrastre de las partículas en un término convectivo, representando el desplazamiento medio, y en un término dispersivo, integrando los efectos de las heterogeneidades, es arbitraria, pero tiene la ventaja de ser coherente con la descripción macroscópica adoptada.

Desde le punto de vista práctico la mejor forma de aproximar el fenómeno del transporte es mediante una ley de transporte por dispersión mecánica análoga a la ley de Fick, pero con carácter tensional:

$$\phi_d = -\bar{D} \nabla C \quad (4)$$

Esta expresión se aplica a toda la sección  $\Sigma$  del volumen elemental, de igual forma que la velocidad de Darcy  $\bar{u}$ . En ella,  $D$  es un tensor de segundo orden simétrico, que expresa

la proporcionalidad entre el gradiente de concentraciones y el flujo dispersivo (ley de Fick).

$$D_{ij} = \alpha_{ijk} \frac{\bar{u}_k \bar{u}_m}{|\bar{u}|} f(Pe, \partial) \quad (5)$$

en donde:

Pe es el número de Peclet y que responde a la expresión:

$$Pe = \frac{L|\bar{u}|}{d} \quad (6)$$

$d_m$  es el coeficiente de difusión molecular y L la longitud característica de los poros.

$\partial$  es cociente entre la longitud característica de los poros y la longitud de la sección transversal.

La función  $f(Pe, \partial)$  introduce el efecto de transferencia de contaminante por difusión molecular entre las líneas de corriente adyacentes a un nivel microscópico.

$$f(Pe, \partial) = \frac{Pe}{Pe + 2 + 4\partial^2} \approx 1 \quad (7)$$

La dispersividad del medio poroso  $\alpha_{ijk}[m]$  es un tensor de cuarto orden, para el transporte en tres dimensiones, que expresa la configuración microscópica de la interfase sólido-líquido. En un medio tridimensional isótropo hay 21 componente no nulas, relacionadas mediante los parámetros denominados dispersividad longitudinal y transversal,  $\alpha_L$  y  $\alpha_T$  respectivamente.

$$\alpha_{ijkl} = \alpha_T \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{\alpha_L + \alpha_T}{2} (\delta_{ij} + \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \quad (8)$$

En donde  $\alpha_L$  y  $\alpha_T$  tienen dimensión [L]. Además se verifica que  $\alpha_L$  es de 5-100 veces  $\alpha_T$ , y son mucho mayores que  $d_m$ . Si el medio es anisótropo la expresión es mucho más complicada.

Suponiendo el medio isótropo y  $f(Pe, \partial) \approx 1$ , tendremos:

$$D_{ij} = \alpha_T |\vec{u}| \delta_{ij} + (\alpha_L - \alpha_T) \frac{u_i u_j}{|\vec{u}|} \quad (9)$$

Las coordenadas del tensor para el caso tridimensional serian:

$$D = \begin{pmatrix} D_{xx} & D_{xy} & D_{xz} \\ D_{yx} & D_{yy} & D_{yz} \\ D_{zx} & D_{zy} & D_{zz} \end{pmatrix} \quad (10)$$

donde,

$$D_{xx} = \alpha_T |\vec{u}| + \frac{(\alpha_L - \alpha_T) u_x^2}{|\vec{u}|}$$

$$D_{yy} = \alpha_T |\vec{u}| + \frac{(\alpha_L - \alpha_T) u_y^2}{|\vec{u}|}$$

$$D_{zz} = \alpha_T |\vec{u}| + \frac{(\alpha_L - \alpha_T) u_z^2}{|\vec{u}|}$$

$$D_{xy} = D_{yx} = \alpha_T |\vec{u}| + \frac{(\alpha_L - \alpha_T) u_x u_y}{|\vec{u}|}$$

$$D_{xz} = D_{zx} = \alpha_T |\vec{u}| + \frac{(\alpha_L - \alpha_T) u_x u_z}{|\vec{u}|}$$

$$D_{yz} = D_{zy} = \alpha_T |\vec{u}| + \frac{(\alpha_L - \alpha_T) u_y u_z}{|\vec{u}|}$$

Debido al efecto del campo de velocidades, los ejes en las direcciones principales del tensor D en un punto son siempre:

- Dirección tangente en la línea corriente que pasa por ese punto (dirección del vector velocidad en ese punto):  $\vec{T}$
- Direcciones perpendiculares a  $\vec{T}$ :  $\vec{N}$  y  $\vec{B}$  (triedro de Frenet).

Aunque el medio no sea isótropo existen tres direcciones principales para cada punto del dominio. Estas direcciones varían de un punto a otro al variar la velocidad.

Si se elige un sistema de ejes coincidente con dichas direcciones principales de anisotropía se tendrá:

$$D = \begin{pmatrix} D_L & 0 & 0 \\ 0 & D_T & 0 \\ 0 & 0 & D_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_L |\vec{u}| & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_T |\vec{u}| & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_T |\vec{u}| \end{pmatrix} \quad (11)$$

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el flujo másico entrante a través de la frontera exterior  $\Sigma$  del volumen elemental  $V$  será:

$$\phi_d = \int_{\Sigma} (\phi_d n) d\sigma = \int_V \nabla(D \cdot \nabla C) d\Omega \quad (12)$$

#### 5.4.3. ECUACIÓN DEL TRANSPORTE.

Considerando un volumen elemental  $V$  de medio poroso, con una frontera exterior  $\Sigma$ , y teniendo en cuenta los tres mecanismos de transporte, anteriormente expuestos, y la ley de conservación de masa del elemento transportado estará representado por:

$$\int_V [-\nabla(Cu) + w_c \nabla(d_1 \nabla C) + (w - w_c) \nabla(d_2 \nabla C) + \nabla(D \cdot \nabla C)] d\Omega = \frac{\partial}{\partial t} \int_V w_c C d\Omega + \frac{\partial}{\partial t} \int_V (w - w_c) C d\Omega \quad (13)$$

en donde:

$C$  y  $C'$  concentraciones del elemento en la fase móvil e inmóvil.

$d_1$  y  $d_2$  difusiones moleculares en la fase móvil e inmóvil.

$w$  y  $w_c$  porosidades total y cinemática.

En el segundo miembro de (13) se consideran los cambios másicos por unidad de tiempo que tienen lugar en las fases móvil e inmóvil del fluido en el medio poroso.

Se puede simplificar la expresión (13) agrupando por un lado los términos de difusión molecular  $d_1$  y  $d_2$  en el coeficiente de difusión global  $d$ , y por otro lado se agrupan la difusión  $d$  y el tensor de dispersión  $D$  en el tensor de dispersión hidromecánica  $D'$ , tensor anisótropo cuyas componentes en direcciones principales se pueden expresar como:

$$D'_L = w.d. + \alpha_L |\vec{u}| \quad (14)$$

Sustituyendo en el caso bidimensional, se puede escribir la ecuación que rige el transporte de un elemento conservativo en un elemento poroso como:

$$\nabla(D\nabla C - C\bar{u}) = w_c \frac{\partial C}{\partial t} + (w - w_c) \frac{\partial C'}{\partial t} \quad (15)$$

El desarrollo del transporte conservativo es una idealización de lo que realmente ocurre en la naturaleza, ya que en esta no se cumple la ley de conservación de la materia en el transporte debido a tres mecanismos:

- **Mecanismo de retardo.**
- **Mecanismo de desintegración.**
- **Mecanismo de filiación.**

Sin embargo y aunque cada uno de estos mecanismos hace que el transporte no sea conservativo, en la presente tesis se va a considerar solo el transporte conservativo, despreciando los efectos de los mecanismos anteriormente citados.

#### 5.4.4. CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO DE LA ECUACIÓN DE TRANSPORTE.

Las condiciones iniciales se dan mediante la distribución  $h(x)$  de la concentración en  $t=0$ ,  $C(x,t)=h(t)$ .

Respecto a las condiciones de contorno podemos distinguir análogamente a lo que se hacía en el problema de flujo tres tipos de condiciones:

- **Concentraciones prescrita o de Dirichlet.** La concentración es una función conocida  $g(x,t)$  en todos los puntos de la frontera del dominio, teniendo por expresión:  $C(x,t)=g(x,t)$ . Este tipo de condición es usada para describir un contorno lejano no alcanzable por el elemento.
- **Gradiente de concentraciones prescrito o de Newman.** Se conoce el gradiente de concentraciones en dirección normal a la frontera del dominio,  $f(x,t)$ . Esto querrá decir que el flujo prescrito es el dispersivo, con lo que en la frontera se verificará:

$$\frac{\partial C}{\partial n} = f(x,t) \text{ siendo } n \text{ el vector normal a la frontera de dominio.}$$

- **Flujo prescrito de Cauchy.** En este tipo de condición quedan prescritos tanto la componente convectiva del flujo, como la dispersiva; ambas en la frontera del dominio. Es una combinación de los dos casos anteriores, conociéndose una combinación lineal de la concentración en la frontera  $C$ , y la derivada de la concentración respecto a la normal de la frontera,  $\partial C / \partial n$ .



---

## 6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

---

Tal como se ha comentado, el presente estudio hidrogeológico requiere el manejo de una gran cantidad de documentación diversa, como puede ser:

- *Cartografía geológica.*
- *Cartografía hidrogeológica.*
- *Topografía.*
- *Fotografías.*
- *Inventario de puntos de agua.*
- *Usos del agua.*
- *Información de sondeos.*
- *Resultados de los ensayos en los sondeos.*
- *Seguimiento piezométrico.*
- *Análisis químicos y radioquímicos.*
- *Modelos de flujo y transporte.*

El control y contraste adecuado de toda esta información, es fundamental para una mejora interpretación de los resultados.

Para ello, se decidió almacenar todos estos datos en un Sistema de Información Geográfica (GIS), de forma que la diferente información pudiera ser consultada, actualizada y tratada en su conjunto.

El GIS puede definirse como un sistema informático de hardware, software, datos geográficos especiales, información descriptiva de los elementos geográficos para la consulta, mantenimiento, análisis y edición de información georeferenciada. En la actualidad existen varios programas informáticos orientados a estas funciones, algunos de los cuales se denominan a sí mismos GIS. No obstante, existen notables diferencias entre ellos, debido principalmente al modo en que representan y utilizan los datos espaciales y también al énfasis relativo otorgado a estas operaciones.

## 6.1. COMPONENTES DE UN GIS.

Aunque pensemos en un GIS como un producto único de software, está formado por varios componentes. La figura 6.1. ofrece una visión global de los componentes de software que aparecen, generalmente, en un GIS.

No todos los sistemas poseen todos estos elementos, pero para poder considerarse un verdadero GIS debe incorporar la mayor parte de éstos.

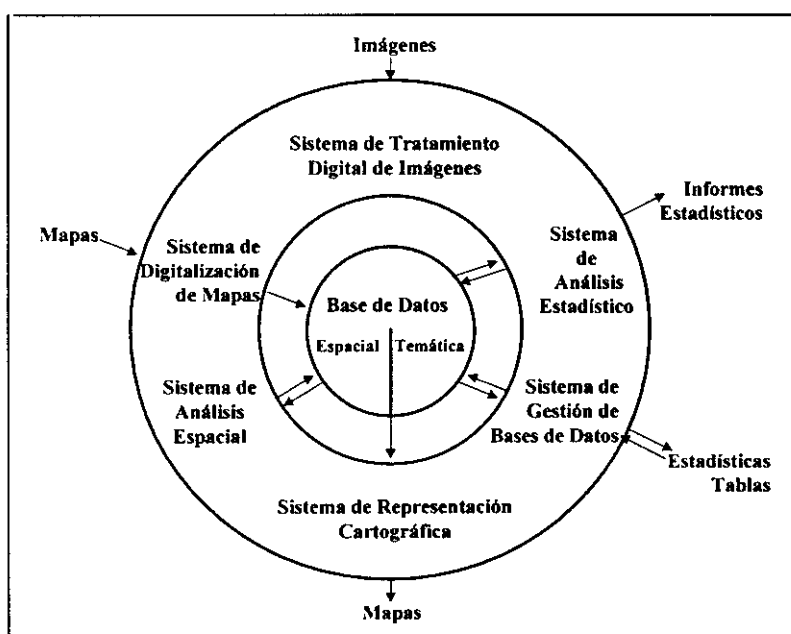


FIG. 6.1-1. Componentes de un GIS.

### 6.1.1. BASE DE DATOS TEMÁTICA Y ESPACIAL.

La parte central del sistema es la base de datos, que podríamos definir como un conjunto de mapas e información asociada a éstos, en forma digital. La base de datos está asociada a los objetos de la superficie terrestre, por lo que podemos descomponerla en dos elementos:

- *Una base de datos espacial, que describe la geografía (forma y posición) de los objetos de la superficie terrestre.*

- **Una base de datos temática, que describe las características o cualidades de estos objetos.**

Así, por ejemplo, podríamos tener una parcela definida en la base de datos espacial y sus cualidades, como uso del suelo, propietario, valor, etc., en la base de datos temática.

En algunos sistemas, las bases de datos espacial y temática están completamente diferenciadas entre sí, mientras que en otros están estrechamente integradas en una sola entidad (de ahí que la línea que separa estos dos componentes sólo se extienda hasta la mitad del círculo, en la figura 6.1-1.).

### **6.1.2. SISTEMA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA.**

Existen una serie de componentes de software destinados a la producción de mapas (en pantalla o en la base de datos), a partir de los elementos seleccionados de la base de datos. El más básico de éstos es el Sistema de Representación Cartográfica, que posibilita el uso de dispositivos de impresión, como la impresora o el trazador (plotter). Las utilidades de producción cartográfica varían entre las diferentes aplicaciones de software. La mayoría sólo permite salidas cartográficas muy básicas, y dejan las más sofisticadas (como la separación de color) a sistemas de software para la publicación de alta calidad.

### **6.1.3. SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN DE MAPAS.**

El sistema de digitalización de mapas es el elemento más importante, después del sistema de representación cartográfica. Este sistema posibilita la transformación a formato digital de los mapas existentes en papel, pasando a formar parte de la base de datos. En los métodos de digitalización más comunes, se coloca el mapa de papel sobre una tableta digitalizadora y, a continuación, se trazan los elementos de interés con un cursor, de acuerdo a los procedimientos establecidos por el software de digitalización. Muchos sistemas de digitalización de mapas también permiten algún tipo de edición de los datos digitalizados.

Para pasar a formato digital algunos tipos de datos, como la fotografía aérea, también pueden utilizarse exploradores ópticos (scanners). El

resultado es una imagen gráfica, a diferencia de las líneas que definen los elementos generados con la tableta digitalizadora.

Los exploradores ópticos ofrecen, generalmente, una gama variada de formatos de archivos gráficos estándares para la exportación. Estos archivos son importados por un GIS.

El Diseño Asistido por Ordenador (CAD) y la Geometría (COGO) son dos ejemplos de software que permiten añadir información cartográfica digitalizada a la base de datos, además de ofrecer utilidades de representación cartográfica.

#### **6.1.4. SISTEMA DE GESTIÓN DE BASE DE DATOS.**

El siguiente componente lógico en un GIS es el Sistema de Gestión de Base de Datos (DBMS). Tradicionalmente, este término hace referencia a un tipo de software que se utiliza en la introducción, gestión y análisis de datos temáticos. En el caso de un GIS también es necesaria la gestión de base de datos espaciales. De este modo, un GIS incorpora, junto a un DBMS tradicional, una gama de utilidades para la gestión de los componentes temático y espacial de los datos geográficos almacenados.

En un DBMS se pueden introducir datos temáticos, a partir de tablas y estadísticas, para posteriormente extraer nuevas tablas (especializadas) y resúmenes estadísticos, que aporten nuevos datos. No obstante, y más importante, un Sistema de Gestión de Base de Datos posibilita el análisis de datos temáticos. En ocasiones, el análisis de mapas no posee un verdadero componente espacial, en cuyo caso un DBMS funcionará bastante bien. Por ejemplo, podríamos solicitar al sistema de búsqueda de todas las parcelas donde el cabeza de familia esté soltero, pero con uno o más niños a su cargo, y cartografiar los resultados. El producto final (un mapa) es ciertamente espacial, pero el análisis en si no tiene ninguna cualidad espacial. Por esta razón, aparece en la figura 6.1. la flecha doble entre DBMS y la base de datos temática, que representa esta forma no espacial de análisis de datos.

El software que integra la visualización cartográfica, la digitalización de mapas y las capacidades de consulta de bases de datos se conoce como sistemas de Cartografía Automatizada y Gestión de Infraestructuras (AM/FM).

### 6.1.5. SISTEMA DE ANÁLISIS ESPACIAL.

Hasta el momento, se han descrito una serie de capacidades muy poderosas: digitalizar datos espaciales, conectar atributos temáticos a los elementos almacenados, analizar estos datos en función de esos atributos y cartografiar el resultado. Existe un gran número de sistema en el mercado que sólo poseen estas capacidades, muchos de los cuales se autodenominan GIS. Pero, a pesar de su utilidad, esta serie de capacidades no constituyen, necesariamente, un verdadero GIS. El componente ausente es el análisis de datos basado en las características espaciales. Para esto es necesario un Sistema de Análisis Espacial.

Un Sistema de Análisis Espacial incluye, junto a los componentes tradicionales de consulta de base de datos, la posibilidad de analizar datos, basándose en su localización. Quizás el ejemplo más sencillo es imaginar lo que sucede cuando se unen elementos de distinta distribución espacial.

Por ejemplo, supongamos que queremos encontrar todas las áreas residenciales asentadas sobre rocas asociadas a altos niveles de gas radón. Este problema no se puede resolver con un DBMS tradicional, simplemente porque los tipos de rocas y la ocupación del suelo no comparten las mismas divisiones espaciales. La consulta de bases de datos tradicional es idónea para atributos temáticos que pertenecen a los mismos elementos. Pero no se pueden utilizar cuando los elementos son distintos. Para estos casos es necesario un GIS. De hecho, esta capacidad de comparar elementos distintos, en base a su coincidencia espacial, es elemento distintivo de los GIS. Este análisis se realiza mediante el proceso de superposición (overlay), así denominado porque tiene el mismo carácter que la superposición de mapas transparentes de los dos grupos de entidades, uno sobre otro.

En la figura 6.1. con en el caso del DBMS, el Sistema de Análisis Espacial presenta una doble interacción con la base de datos - el proceso es claramente de carácter analítico. Así, a la vez que puede acceder a datos de la base de datos, puede añadir, igualmente los resultados del análisis como nueva información de la base de datos. Por ejemplo, podríamos buscar zonas de pendientes abruptas y suelos de fácil erosión ocupados por la agricultura, y denominar el resultado mapa de riesgo de erosión del suelo. Este mapa de riesgo no estaba en la base de datos original, pero fue generado a partir de una serie de relaciones específicas de la información existente. De este modo, las capacidades analíticas de los Sistemas de Análisis Espacial y los DMS juegan un papel principal en la ampliación de las bases de datos, añadiendo nueva información proveniente de las relaciones entre los elementos.

Aunque la superposición es el elemento diferenciador de los GIS, el análisis espacial asistido por ordenador ha mejorado notablemente en la última década.

Conviene reseñar, que este componente espacial, es el que da su identidad a un verdadero GIS.

#### **6.1.6. SISTEMA DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.**

Junto a los elementos esenciales de un GIS - Sistema de Representación Cartográfica, Sistema de Digitalización de Mapas, Sistema de Gestión de Base de Datos y Sistema de Análisis Espacial -, algunos software incluyen, también, capacidades para el tratamiento digital de imágenes (teledetección). El software de tratamiento de imágenes permite acceder a datos originales obtenidos mediante teledetección (como imágenes de satélite Landsat o SPOT) y convertirlos en mapas temáticos, de acuerdo a varios procedimientos de clasificación.

#### **6.1.7. SISTEMA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

Algunos sistemas ofrecen procedimientos estadísticos tradicionales, así como algunos programas especializados para el análisis estadístico de datos espaciales. Debido a su carácter especial y a los problemas que plantean para extraer conclusiones de los métodos estadísticos tradicionales, los geógrafos han desarrollado una serie de programas especializados para la descripción estadística de los datos espaciales.

#### **6.1.8. SISTEMA DE TOMA DE DECISIONES.**

A pesar de que la toma de decisiones es una de las funciones más importantes de un GIS, las herramientas diseñadas para ello son relativamente pocas en la mayoría de éstos. No obstante, algunas incluyen varios módulos específicamente desarrollados para ayudar en los procesos de toma de decisiones de localización de recursos. Se incluyen módulos que incorporan el error en los procesos, ayuda en la generación de mapas de capacidad de acogida (multicriterio), y decisiones de localización cuando hay varios objetivos envueltos. En conjunción con los otros componentes del sistema, estos módulos ofrecen un arma poderosa para la toma de decisiones de localizaciones de recursos.

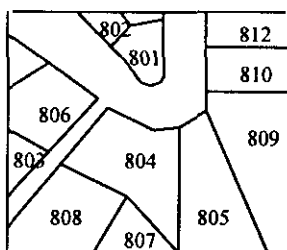
## 6.2. REPRESENTACIÓN DE DATOS ESPACIALES.

Uno de los aspectos que diferencia a los distintos Sistemas de Información Geográfica, es la combinación de los componentes de software mencionados anteriormente. Sin embargo, la principal diferencia es el modo en que éstos representan los datos cartográficos en formato digital.

Un Sistema de Información Geográfica almacena dos tipos de datos que aparecen en un mapa: la definición espacial de los objetos de la superficie terrestre y los atributos temáticos o cualidades que poseen dichos objetivos. No todos los sistemas utilizan la misma técnica de almacenamiento. No obstante, prácticamente todos utilizan una combinación de las dos principales técnicas de representación cartográficas: vectorial y raster.

### 6.2.1. VECTORIAL.

En la representación vectorial, el limite o contorno de un objeto se define por una serie de puntos que, cuando se unen mediante líneas rectas, forman la representación gráfica de este objeto. Los puntos son codificados mediante un par de números que representan las coordenadas X e Y en sistemas tales como latitud/longitud o Universal Transverse Mercator.



ID	Uso del Suelo	Area
801	201	6305
802	202	6412
803	112	7221
804	201	12532
805	312	14638
806	201	6120
807	111	8914

**VECTORIAL**



0	0	0	0	2	2	2	2
0	0	0	2	2	2	2	2
0	0	2	2	2	2	2	2
0	0				2	2	0
1	0	1			0	0	0
1	1						0
1	1	0			0	0	0

**RASTER**

**Figura 6.2.1-1.**

**Figura 6.2.2-1.**

Los atributos de los objetos se almacenan con un programada (software) tradicional de gestión de base de datos (DBMS). Por ejemplo, un mapa vectorial de propiedad del suelo podría estar ligado a una base de datos temática que contenga información sobre la dirección postal, el nombre del propietario, el valor de la propiedad y la ocupación del suelo. La unión entre estos dos archivos de datos puede ser un simple número identificador dado a cada objeto del mapa (figura 6.2.1.).

### 6.2.2. RASTER.

La segunda forma de presentación se denomina raster. En los sistemas raster, la representación gráfica de los objetos y de sus atributos temáticos se realiza en un mismo archivo de datos. De hecho, no se definen los objetos, sino que se subdivide el área de estudio en una malla de celdas, en las que se registra el atributo temático o característica de la superficie terrestre en ese punto (figura 6.2.2-1.). Cada celda posee un valor numérico que puede representar el identificador de objeto, el código de un atributo cualitativo o el valor de un atributo cuantitativo. Por ejemplo, una celda con un valor "6" podría indicar que pertenece al Distrito 6 (identificador de objeto) o que está cubierto por el tipo de suelo 6 (atributo cualitativo) o que están 6 metros sobre el nivel del mar (valor de atributo cuantitativo).

Aunque los datos almacenados en las celdas de esta malla no se refieren necesariamente a fenómenos que pueden observarse en el medio ambiente, las mallas de datos en si mismas pueden considerarse como imágenes - de algún aspecto del medio ambiente- o como capas - cada una de las cuales almacena un tipo de información sobre la región cartografiada -, que pueden visualizarse en modo raster.

En la visualización raster, como por ejemplo en la pantalla del ordenador, también hay una malla de pequeñas celdas denominada píxeles. Pixel es la contracción del término picture element. Los píxeles pueden variar de color, forma o tono de gris. Los valores de las celdas en la malla de datos se utilizan para regular directamente la apariencia gráfica de los píxeles correspondientes.

Por tanto, en un sistema raster los datos controlan directamente su representación visual.



### 6.2.3. RASTER FRENTE A VECTORIAL.

Los sistemas raster requieren un gran volumen de almacenamiento (aunque existen técnicas de comprensión de datos) ya que deben registrar un dato en cada celda, independientemente de si la información es de interés o no. Su principal ventaja es la organización de los datos: el espacio geográfico se define uniformemente en un modo simple y predecible. Este hecho confiere a los sistemas raster, frente a su homólogos vectoriales, mayor facilidad para los procesos analíticos de espacios continuos. Son ideales para el estudio de datos de distribución espacial continua, como topografía, biomasa, precipitación, etc.. Por otra parte, la estructura raster se asemeja a la arquitectura de los ordenadores digitales, segunda ventaja de este formato. Por esta razón, los sistemas raster suelen ser muy rápidos en la evaluación de problemas que requieren varias combinaciones matemáticas de los datos de múltiples capas. Son idóneos para evaluar modelos medio ambientales, como la erosión potencial del suelo o políticas de gestión forestal. Además, como las imágenes de satélite poseen estructura raster, la mayoría de los sistemas raster pueden incorporar fácilmente este tipo de información, y algunos, de hecho, ofrecen un amplio rango de capacidades de tratamiento digital de imágenes.

En tanto los sistemas raster se orientan principalmente al análisis, los sistemas vectoriales suelen estar más orientados a la gestión de base de datos. Los sistemas vectoriales son muy eficientes en su almacenamiento de datos cartográficos, porque sólo almacenan los límites de los elementos y no lo que hay dentro de esos límites. Debido a que la representación gráfica está directamente unida a la base de datos temática, los sistemas vectoriales no permiten recorrer la visualización gráfica con un ratón y realizar consultas sobre los atributos temáticos asociados con el elemento visualizado, tal como la distancia entre puntos a lo largo de líneas, las áreas de las regiones definidas en la pantalla, etc. Además, pueden producir mapas temáticos a partir de consultas a la base de datos, tal como un mapa con todas las secciones lineales de la red de alcantarillado con un metro de diámetro, instalados antes de 1940.

Comprando con sus homólogos raster, los sistemas vectoriales no tienen un rango tan amplio de capacidades de análisis de espacios continuos. Sin embargo, son más adecuados para el análisis de redes y pueden realizar las operaciones más fundamentales de un SIG. Para muchos expertos, los principales atractivos del sistema vectorial son la sencillez de las funciones de gestión de base de datos y las excelentes capacidades para la cartografía. Debido a la gran afinidad entre la representación del formato vectorial y la producción cartográfica tradicional, un trazador (plotter) puede

producir un mapa que no se diferencia de uno producido por medios tradicionales. Por esta razón, el sistema vectorial es muy popular en aplicaciones municipales, donde predominan la producción de mapas de ingeniería y la gestión de base de datos.

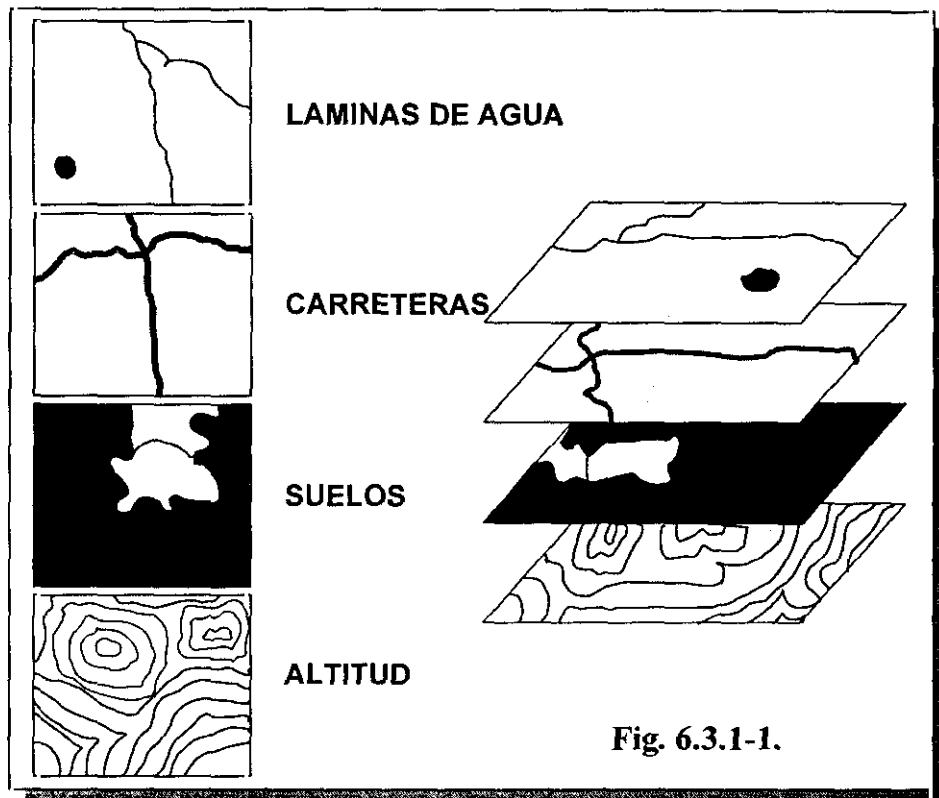
### 6.3. CONCEPTOS DE BASES DE DATOS ESPACIALES.

#### 6.3.1. ORGANIZACIÓN.

Independientemente del método de presentación espacial utilizado, raster o vectorial, una base de datos espacial - una base de datos completa de una región determinada - se organiza de modo similar a un conjunto de mapas (Figura 6.3.1-1.). Los sistemas vectoriales están muy próximos a este concepto con las denominadas coberturas, que contienen las definiciones espaciales de una serie de objetos y las tablas de atributos temáticos asociados a ellos. No obstante, difieren de los mapas en dos aspectos. Primero, cada cobertura contendrá información sobre un solo tipo de elemento, como parcelas de propiedad del suelo, polígonos de suelos, etc. Segundo, pueden contener una serie completa de atributos relativos a estos elementos, como información censal sobre las manzanas de una ciudad.

Los sistemas raster también utilizan este concepto de similitud a mapas, pero generalmente dividen las series de datos en capas unitarias, es decir, que contienen todos los datos para un solo atributo temático. Así, podríamos tener una capa de suelos, una capa de carreteras y una capa de usos del suelo. En algunos sistemas raster, también pueden conectarse una capa con los identificadores de los objetos (una capa que contienen los identificadores de los elementos situados en cada celda de la malla) con una tabla de atributos temáticos. No obstante, lo más frecuente son las capas independientes para cada atributo temático y las visualizaciones en pantalla y las impresiones en papel se producirán desde estas capas, ya sea individualmente o en combinación.

Aunque hay diferencias sutiles, para todos los intentos y propósitos, las capas raster y coberturas vectoriales pueden entenderse como simples manifestaciones diferentes de un mismo concepto - la organización de la base de datos en temas a modo de mapas elementales. No obstante, las capas y coberturas difieren de los mapas tradicionales en papel en un aspecto importante: cuando un mapa se codifica en forma digital (proceso denominado digitalización) se eliminan las diferencias de escala. Los datos digitales pueden visualizarse o imprimirse en cualquier escala. Más importante todavía, las capas de datos digitales producidas desde mapas en papel de diferentes escalas, pero que cubren el mismo área geográfica, pueden combinarse.



Además, muchos GIS, ofrecen los medios necesarios para cambiar la proyección y el sistema de referencia de las capas digitales. Hecho que permite que las diversas capas, digitalizadas desde mapas que tienen diferente proyección y/o sistemas de referencia, puedan convertirse a un sistema común.

La capacidad de gestionar diferentes escalas, proyecciones y sistemas de referencias, facilita la combinación de capas, eliminando el problema que ha obstaculizado, tradicionalmente, las actividades de planificación con mapas de papel. No obstante, es importante tener en cuenta que el tema de la resolución de la información permanece en las capas de datos. Aunque en un GIS podrían combinarse elementos digitalizados desde un mapa del mundo (de escaso detalle) con elementos digitalizados desde un mapa local de gran detalle (tal como mapa de calles de una ciudad), esta operación no debería realizarse. El nivel de fiabilidad y detalle de los datos digitales sólo puede ser tan bueno como los de los mapas originales.

### 6.3.2. GEORREFERENCIACIÓN.

Todos los archivos de datos espaciales en un GIS están georreferenciados. La Georreferenciación determina la localización de una capa o cobertura en el espacio, definido por un sistema de coordenadas de referencias conocido. En las imágenes raster, la forma común de georreferenciación es indicar el sistema de referencia (p.e., latitud / longitud), las unidades de referencia (p.e., grados) y las posiciones de las coordenadas del eje izquierdo, derecho, superior e inferior de la imagen. Lo mismo sucede en los archivos de datos vectoriales, pero en este caso los ejes izquierdo, derecho, superior e inferior hacen referencia al comúnmente denominado rectángulo delimitante de la cobertura - un rectángulo que define los límites del área cartografiada. Esta información es especialmente importante en un GIS integrado, ya que permite que los archivos raster y vectoriales interactúen entre sí de forma válida y segura. También es importante para la referenciación de valores de datos a sus posiciones reales en terreno.

## 6.4. ANÁLISIS EN UN GIS.

La organización de una base de datos en capas, facilita el acceso rápido a los datos requeridos para el análisis espacial. De hecho, la razón de ser de un GIS es ofrecer un medio de análisis espacial.

Las características analíticas de un GIS pueden considerarse desde los puntos de vista:

- *Primero, en función de las herramientas que ofrece.*
- *Segundo, en función de los tipos de operación que realiza.*

Independientemente de si utilizamos un sistema vectorial o raster, las herramientas suelen agruparse en cuatro grandes grupos y las operaciones que realizan en tres.

### 6.4.1. HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS.

- **Consulta de Base de Datos:**

De todas las herramientas incluidas en un GIS, las más importantes son aquellas relacionadas con la Consulta a la Base de Datos. Se trata, simplemente, de consultas sobre la información ya almacenada en la base de datos. En algunos casos, preguntas sobre la localización (¿qué ocupación del suelo existe en este punto?); en otros, preguntas sobre los atributos temáticos (¿qué áreas tienen altos niveles de gas radón?). Algunas veces se realizan consultas sencillas, como los ejemplos anteriores, y en otras ocasiones las consultas son complejas, compuestas de varias condiciones (seleccionar todas las zonas húmedas mayores de 1 hectárea que estén junto a zonas industriales).

En la mayoría de los sistemas, estas operaciones de consulta se realizan en dos pasos. En el primer paso, denominado reclasificación, se crea una nueva capa con cada condición individual de interés (fig. 6.4.1-1.).

Por ejemplo, si estamos buscando áreas residenciales situadas sobre geología asociada a altos niveles de gas radón, el primer paso sería crear una capa con las áreas residenciales, mediante la reclasificación

de todos los códigos del uso del suelo en sólo dos códigos - un 1 donde existen áreas residenciales y un 0 en el resto de los casos.

La capa resultante se conoce como capa Booleana ya que sólo muestras aquellas áreas que cumplen la condición (1 = verdadera, la zona es residencial) y las que no lo hacen (0 = falso, no es área residencial).

Las capas Booleanas también se conocen como capas lógicas ya que sólo muestran las relaciones verdadero / falso. A veces, también se denominan capas binarias, porque sólo contienen ceros y unos, pero en nuestro caso evitaremos este término, ya que también describe un tipo concreto de formato de almacenamiento de datos.

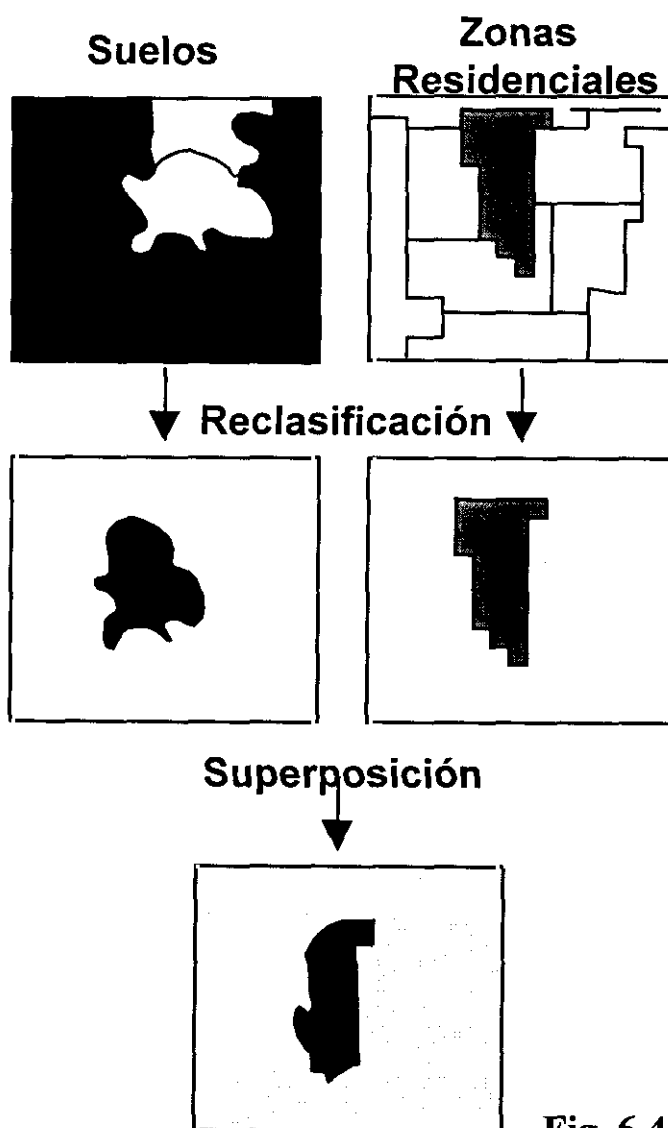


Fig. 6.4.1-1.

Utilizaremos la denominación de capas Booleanas.

Una vez creada la capa residencia, la capa geológica será reclasificada para crear una capa Booleana, que muestre las áreas cuya geología está asociada a altos niveles de gas radón. En este punto, podemos combinar las dos condiciones mediante la operación denominada superposición (figura 6.4.1.1.) La superposición es el elemento definitivo de un GIS ya que sólo un GIS puede combinar condiciones que actúan sobre elementos con diferencias espaciales.

- **Algebra de Mapas:**

El segundo conjunto de herramientas de un GIS es el utilizado para la combinación matemática de capas temáticas. La modelización requiere que seamos capaces de combinar capas, en función de varias combinaciones matemáticas. Por ejemplo, podríamos tener una ecuación que predice la temperatura media anual a partir de la altitud; o podríamos crear un mapa de erosión potencial del suelo basado en factores de erosividad del suelo, pendiente e intensidad de las precipitaciones. Claramente, necesitamos una herramienta para modificar los valores de los datos de nuestras capas temáticas, mediante varias operaciones y transformaciones matemáticas, y combinar los factores matemáticamente para producir el resultado final.

Las herramientas del Algebra de Mapas ofrecen tres tipos diferentes operaciones:

1. modificar aritméticamente los valores de datos temáticos, distribuidos espacialmente, mediante una constante (p.e., escalado aritmético).
2. transformar matemáticamente los valores de datos temáticos mediante una operación estándar (funciones trigonométricas, transformaciones logarítmicas, etc.).
3. combinar matemáticamente (suma, resta, multiplicación, división) diferentes capas de datos para generar un resultado compuesto.



- **Operaciones de Distancia:**

El tercer grupo de herramientas de un GIS son los Operadores a Distancia. Como su nombre sugiere, se trata de una serie de técnicas de análisis donde la distancia juega el papel principal. Por ejemplo, todos los sistemas poseen herramientas para la generación de corredores de proximidad (buffer) -zonas dentro de una distancia específica a un tipo de elemento designado (figura 6.4.1-2.). Algunos también pueden evaluar la distancia de todas las localizaciones al más próximo de una serie de elementos designados (figura 6.4.1-2.).

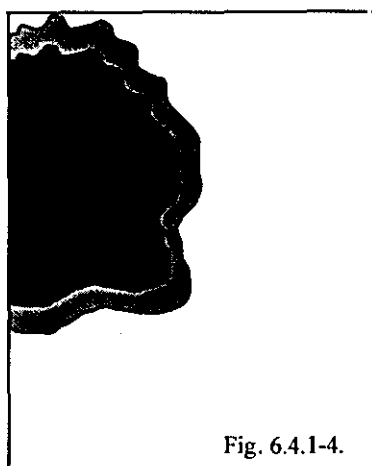
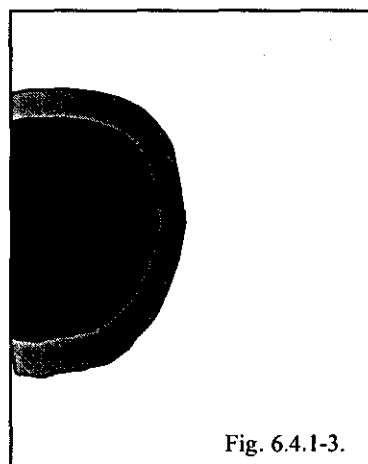
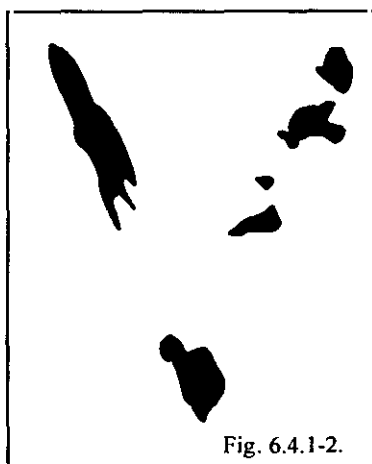
Algunos también pueden evaluar la distancia de todas las localizaciones el más próximo de una serie de elementos designados (figura 6.4.1-3.), en tanto que otros pueden incorporar, incluso, efectos de fricción (figura 6.4.1-4.) y barreras absolutas (figura 6.4.1-5.) en los cálculos de distancia.

Independientemente de cómo se evalúe la distancia, mediante línea recta o coste, otra herramienta común en los GIS es la localización. Con esta operación, los puntos se asignan al más próximo de una serie de elementos designados. Por ejemplo, podríamos establecer una serie de centros de salud y, a continuación, asignar los residentes a su centro más próximo, donde "próximo" podría significar distancia lineal o distancia de coste (p.e., tiempo de viaje).

- **Operadores de Contexto:**

Por último, la mayoría de los Sistemas de Información Geográfica poseen una gama variada de Operadores de Contexto (también conocidos como operadores de vecindad o locales). Con estos operadores se generan nuevas capas, basadas en la información de un mapa existente y el contexto en que se encuentran. Uno de los ejemplos más sencillos es el análisis de superficies, donde se utiliza un modelo digital de elevaciones para producir una capa de pendientes, comparando las altitudes de los puntos con las de sus vecinos más próximos. De igual forma, se puede obtener la orientación (la dirección de máxima pendiente).

Otro buen ejemplo de operador de contexto son los filtros digitales, que modifican los valores originales del punto, en función de los valores de sus puntos vecinos. Por ejemplo, una superficie de altitudes puede suavizarse, cambiando el valor original por el de la media de la altitud original y la altitud de sus vecinos. Los filtros digitales tienen un amplio rango de aplicaciones en GIS y Teledetección, desde la eliminación de ruido al realce visual de imágenes.



Debido a su estructura de datos, sencilla y uniforme, los sistemas raster ofrecen una gran variedad de operadores de contexto. En algunos se incluye el análisis de superficies, filtros digitales, identificación de áreas contiguas, análisis de cuencas, análisis de visibilidad (una evaluación de todas las áreas visibles desde uno o más elementos designados) y un procedimiento especial de modelado de oferta /demanda, donde las demandas se satisfacen mediante las ofertas (de manera radial) de las localizaciones vecinas.

### 6.4.2. OPERACIONES ANALÍTICAS.

Gracias a estas herramientas, los GIS pueden realizar un amplio rango de operaciones analíticas, que pueden agruparse en tres tipos: consulta a la base de datos, cartografía derivada y modelización de procesos.

- **Consulta a la Base de Datos:**

En la consulta a la base de datos, simplemente se seleccionan varias combinaciones de variables para su análisis. Las herramientas que se utilizan son las comentadas anteriormente bajo el mismo título, pero además se incluyen varios procedimientos de medición y análisis estadístico. El elemento distintivo de este tipo de análisis es la imposibilidad de extraer más de lo que se ha introducido en el sistema. Aunque se pueden extraer combinaciones que nunca se hayan analizado anteriormente, el sistema no aporta información nueva - simplemente se hace una retirada de datos de un banco previamente generado.

Una de las actividades clave en la consulta a la base de datos es la búsqueda de patrones (estructuras). Generalmente, se buscan los patrones espaciales de los datos, que puedan conducir a la formulación de hipótesis sobre las relaciones entre las variables.

- **Cartografía Derivada:**

En la cartografía derivada, se combinan los componentes seleccionados de la base de datos para obtener nuevas capas derivadas. Por ejemplo, podríamos generar la pendiente a partir de un modelo digital de elevaciones y, a continuación, combinar la pendiente con información sobre el tipo de suelo y de precipitación, para generar un nuevo mapa de erosión potencial del suelo. Este nuevo mapa será una capa más de nuestra creciente base de datos.

¿Cómo se pueden crear nuevos datos a partir de los iniciales?. A diferencia de la consulta a la base de datos, donde simplemente se extraía información que ya existía en la base de datos, en la cartografía derivada se utiliza la información existente y se añade algo nuevo - el crecimiento de las relaciones entre los elementos de la base de datos. Se puede generar un mapa de erosión potencial del suelo a partir de una capa digital de elevaciones, una capa de suelos y una capa de precipitación, solo si se conocen las relaciones entre estos factores y el nuevo mapa a generar. En algunos casos, estas relaciones se especifican en términos lógicos (p.e., creación de un mapa de capacidad de acogida de zonas industriales, basados en las siguientes

condiciones: ocupación de zonas forestales existentes, fuera de las áreas de influencia de zonas naturales húmedas y en áreas de baja pendiente), en cuyo caso se utilizarán las herramientas de la consulta a la base de datos. En otros casos, sin embargo, estas relaciones se especifican en términos matemáticos, y serán necesarias las herramientas del álgebra de mapas. En cualquier caso, será necesario conocer las relaciones que originan el modelo.

En algunos casos, las relaciones de los modelos se pueden derivar de razonamientos lógicos o teóricos. No obstante, en muchas ocasiones es necesario que las relaciones se determinen mediante estudios empíricos. El análisis de regresión, por ejemplo, es un modo muy común en el que se utiliza los datos empíricos para desarrollar una relación matemática entre variables. En el ejemplo de erosión potencial del suelo, se podría tomar una serie de puntos muestrales en lo que se medirá la erosión del suelo, junto a la pendiente, tipo de suelo y precipitación. Estos puntos muestrales serían utilizados para desarrollar una ecuación que relacione la erosión del suelo con las tres variables. La ecuación se utilizaría para evaluar la erosión potencial del suelo sobre una región mucho mayor.

- **Modelización de Procesos:**

La consulta a la base de datos y la cartografía derivada constituyen los principales pilares de los análisis realizados por un GIS, en la actualidad. No obstante, hay un tercer campo que ofrece un gran potencial: Modelización de Procesos o Simulación.

En la modelización de procesos, también se incorpora algo nuevo a la base de datos - el conocimiento de los procesos. Se denomina proceso a la cadena causal por la que se produce un suceso. Por ejemplo, un modelo sencillo para satisfacer la demanda de madera para combustible, se ejecutaría como sigue:

1. Tomar toda la madera necesaria (si es posible) de la localización actual.
2. Si se satisface la demanda o si se ha realizado un viaje superior a 10 kilómetros desde el punto de demanda, ir al paso 4.
3. Si no se ha satisfecho la demanda, avanzar a la localización inmediatamente adyacente no visitada previamente y repetir el paso 1.
4. Finalizar.

La modelización de procesos es una interesante perspectiva para los GIS. Su base es la concepción de la base de datos de un GIS, no como una representación del medio ambiente, sino como un medio ambiente. Es un medio ambiente suplente, que se puede medir y manipular y sobre el que se puede actuar mediante procesos espaciales y temporales. De este modo, la base de datos es como un laboratorio para la evaluación de procesos en un medio ambiente complejo. Tradicionalmente, la ciencia ha eliminado la complejidad para comprender los procesos aislados, estrategia a la que debemos buena parte de nuestros conocimientos. No obstante, las tecnologías actuales, tal como los GIS, ofrecen herramientas para volver a unir estos procesos aislados y obtener un conocimiento del modo en que funcionan dentro de la complejidad del medio ambiente real. A menudo, incluso los procesos más sencillos conllevan patrones complejos cuando interactúan en el medio ambiente.

Otro tipo de procesos, los de toma de decisión, se pueden utilizar y, en alguna forma, modelizar con el uso de un GIS. La tecnología GIS se está convirtiendo en una herramienta importante en la toma de decisiones. De hecho, incluso los resultados más sencillos de una consulta a la base de datos pueden resultar una entrada inestimable, para la toma de decisiones. No obstante, los procesos más complejos de toma de decisión, en los que los analistas piensan a menudo en términos de múltiples criterios, límites imprecisos y niveles aceptables de riesgo, también se pueden modelizar con un GIS.

A pesar de su evidente interés, la modelización de procesos, ya sean medio ambientales o de toma de decisión, es una actividad relativamente nueva y todavía poco utilizada en los GIS. La razón es bastante simple. Aunque se están incorporando numerosas herramientas de modelización en los GIS, es frecuente que el proceso de interés necesite capacidades que no posee el sistema. Estos casos requieren la creación de nuevos módulos o la utilización de herramientas o aplicaciones informáticas exteriores al propio GIS. Muchos sistemas no están bien diseñados para la incorporación de programas creados por el usuario. No obstante, para la presente tesis se ha desarrollado una particular metodología, mediante la cual el modelo desarrollado en una aplicación diferente a la utilizada para el GIS, accede directamente a la información contenida en el GIS.

### 6.5. DESARROLLO DEL GIS.

Para llevar a cabo todas las funciones asignadas al GIS, se realizó al comienzo del estudio, una especificación de detalle, identificándose la información que contendría. Esta información se agrupó en seis bloques:

- ***Base topográfica.***
- ***Cartografía geológica.***
- ***Cartografía hidrogeológica.***
- ***Usos de suelos y aguas.***
- ***Modelo matemático.***
- ***Programa de vigilancia y control***

Cada uno de estos bloques contiene información diversa:

- ***Mapas digitalizados a escalas 1:50000, 1:25000, 1:5000 y 1:1000.***
- ***Fotografías.***
- ***Esquemas: columnas estratigráficas, testificación de sondeos, edificaciones, etc.***
- ***Tablas de datos.***
- ***Gráficos representando la información recogida en las tablas y resultados de la modelización.***
- ***Cortes y perfiles.***
- ***Información general en forma de texto: manuales, protocolos, procedimientos, etc.***

Una vez acabada la especificación, y habiendo decidido que el GIS debería operar sobre plataforma PC, se analizaron las distintas posibilidades del mercado, optando por la aplicación de los programas Idrisi para Windows y ArcInfo / ArcView de ESRI.

#### 6.5.1. IDRISI.

IDRISI es un software de sistema de información geográfica y tratamiento digital de imágenes desarrollado por el Graduate School of Geography, Clark University. Se ha diseñado como herramienta de investigación geográfica a nivel profesional.

IDRISI abarca el rango completo de necesidades de los GIS y Teledetección, desde la consulta de base de datos, a la modelización espacial, el realce de imágenes y la clasificación. Incluye herramientas especiales para el estudio del medio ambiente y la gestión de los recursos naturales, que incluye el análisis de cambios en series temporales, toma de decisiones multicriterio y multiobjetivo, análisis de incertidumbre (incluyendo análisis Bayesianos y de Conjuntos Borrosos) y modelos de simulación (que incluyen el modelo de fuerzas y el análisis de fricción anisotrópica).

Hoy, IDRISI está disponible en versiones para MS-DOS y Windows. Aunque las dos versiones son muy similares en su funcionamiento analítico, IDRISI para Windows ofrece mayores capacidades para la visualización y consulta de base de dato y tal como se decía, fue la opción elegida.

IDRISI para Windows consta de un programa de interfaz principal (con menú y sistema de barra de herramientas) y un conjunto de más de 100 módulos de programa que contienen los medios necesarios para la introducción, visualización y análisis de datos espaciales.

IDRISI para Windows, integra base de datos espacial y temática. No obstante, también ofrece la posibilidad de mantener separados algunos elementos de la base de datos temática.

Permite generar composiciones cartográficas en pantalla de forma muy interactiva y flexible, mediante la utilización de múltiples capas de información, el diseño y localización de elementos en el mapa (anotaciones, escala gráfica, grabados, etc) y el diseño de símbolos y colores. Las composiciones cartográficas de IDRISI para Windows pueden guardarse para una posterior visualización, impresión en dispositivos compatibles con Windows y exportación a una variada gama de formatos normalizados de intercambio.

Los sistemas de software que sólo poseen esta capacidad de acceder y visualizar elementos de la base de datos se denominan, generalmente, atlas digitales.

El sistema de gestión de base de datos se encuentra en el módulo BASE DE DATOS. Además, dispone de un amplio conjunto de programas para la gestión de datos temáticos y espaciales. Una vez realizados los análisis en BASE DE DATOS, pueden aplicarse inmediatamente los resultados a los propios datos espaciales, visualizando los resultados como un mapa.

Su software incluye el tratamiento digital de imágenes (teledetección).

Tanto los sistemas raster como vectorial, tienen sus ventajas e inconvenientes. Por ello, IDRISI para Windows incorpora elementos de ambas técnicas de representación. Aunque es principalmente un sistema

analítico raster, IDRISI para Windows utiliza estructuras de datos vectoriales como forma principal de intercambio y visualización de datos cartográficos. Además, también posee los aspectos fundamentales de gestión de bases de datos.

### 6.5.2. ARCVIEW.

ArcView es una versión reducida del poderoso ArcInfo de ESRI. Este sistema opta por una organización de la información en capas de datos. Para representar dicha información dispone de seis categorías divididas en casi un centenar de tipos diferentes de proyecciones.

El concepto proyecto es la base en forma a la cual gira todo este sistema de información. La ventana de proyecto es la que se utiliza para organizar y gestionar el trabajo de forma eficiente. Desde dicha ventana pueden abrirse todos los componentes del proyecto como vistas, tablas, mapas, gráficos,....

La visualización de la información gráfica se realiza definiendo una vista y los temas que lo componen.

Un tema representa elementos de determinado tipo: puntos como pueden ser las ciudades; arcos las carreteras y polígonos los tipos de terrenos. La información asociada a los elementos de un tema, se visualiza seleccionando en la ventana del proyecto en cuestión, los componentes tabla, en donde aparece una lista completa de todas las tablas asociadas a los temas. De igual modo se realiza la creación de un mapa o un gráfico estadístico.

Las consultas de datos se realizan mediante secuencias SQL, disponiendo de asistentes para su creación. Por otra parte, resulta bastante sencillo hacer consultas gráficas: La opción "selección por tema" proporciona una forma eficaz y sencilla de análisis topológico. Permite operaciones del tipo "elemento contenido en", "intersección de", "a una distancia de", "completamente contenido en", etc. Las consultas son acumulables de manera que pueden hacerse selecciones sucesivas entre temas, hasta obtener el resultado deseado.

ArcView permite dibujar los elementos gráficos fundamentales y su agregación al tema que estamos editando. Dispone de posibilidades de edición de nodos y vértices, tanto desde ratón como desde tableta digitalizadora, así como herramientas para partir y combinar elementos, intersección, unión, extracción, etc.

Asimismo, soporta la geocodificación de datos de tablas externas.



La visualización de imágenes raster (fotografías) requiere el registro de la imagen para que se pueda visualizar en las coordenadas correctas y que los temas se superpongan exactamente con la imagen.

## 6.6. PROYECTOS.

Con los programas descritos se desarrolló el GIS, que se compone fundamentalmente de tres grandes bases de datos o proyectos diferentes.

### 6.6.1. PROYECTO GEOLOGIA.

En este proyecto se incluyen:

- *Topografía escala 1:25000.*
- *Mapas y cortes Geológicos.*
- *Mapas y cortes Hidrogeológicos.*
- *Columna estratigráfica.*
- *Usos del suelo.*
- *Usos del agua.*
- *Puntos de interés Hidrogeológico.*

Se encuentra toda la información Geológica e Hidrogeológica del entorno de la Central en escala 1:25000 (figura 6.6.1-1).



- POBLACIONES  
 Líneas Hidrogeológicas  
 Contacto entre materiales con un rango de permeabilidades similar  
 Contacto entre materiales con rangos de permeabilidad diferentes  
 División de Cuenca  
 Embalses  
 Puntos de Interés Hidrogeológicos  
 Puntos de Interés  
 Hidrogeología  
 Calizas  
 Arcillas, areniscas y conglomerados  
 Calizas y margas  
 Yesos y arcillas yesíferas  
 Arcillas, areniscas y margas  
 Arcillas yesíferas y yesos  
 Arcillas limosas y margas con intercalaciones de areniscas  
 Arcillas yesíferas y margas  
 Yesos, margas y calizas  
 Calizas, dolomías, margas y areniscas  
 Travertinos, Tobas calcáreas y arenas  
 Terrazas detriticas, Gravas y cantos en matriz arenosa  
 3 Coluviones  
 1 Fondos de valle



0.45 0 0.45 0.9 Kilometers

Figura 6.6.1-1. Proyecto Geología.

### 6.6.2. PROYECTO CARTOPO.

En este proyecto se incluyen entre otras las siguientes coberturas:

- ***Topografía.***
- ***Poblaciones.***
- ***Carreteras y caminos.***

Este proyecto está realizado con planos en escala 1:50000, por lo que la información contenida en él está referida al entorno de la Central sin prestar excesivo detalle al entorno cercano.

Sin embargo es muy apropiado para el conocimiento en conjunto del área donde se encuentra ubicada la central.

Un ejemplo de este se puede encontrar en la figura 6.6.2-1.

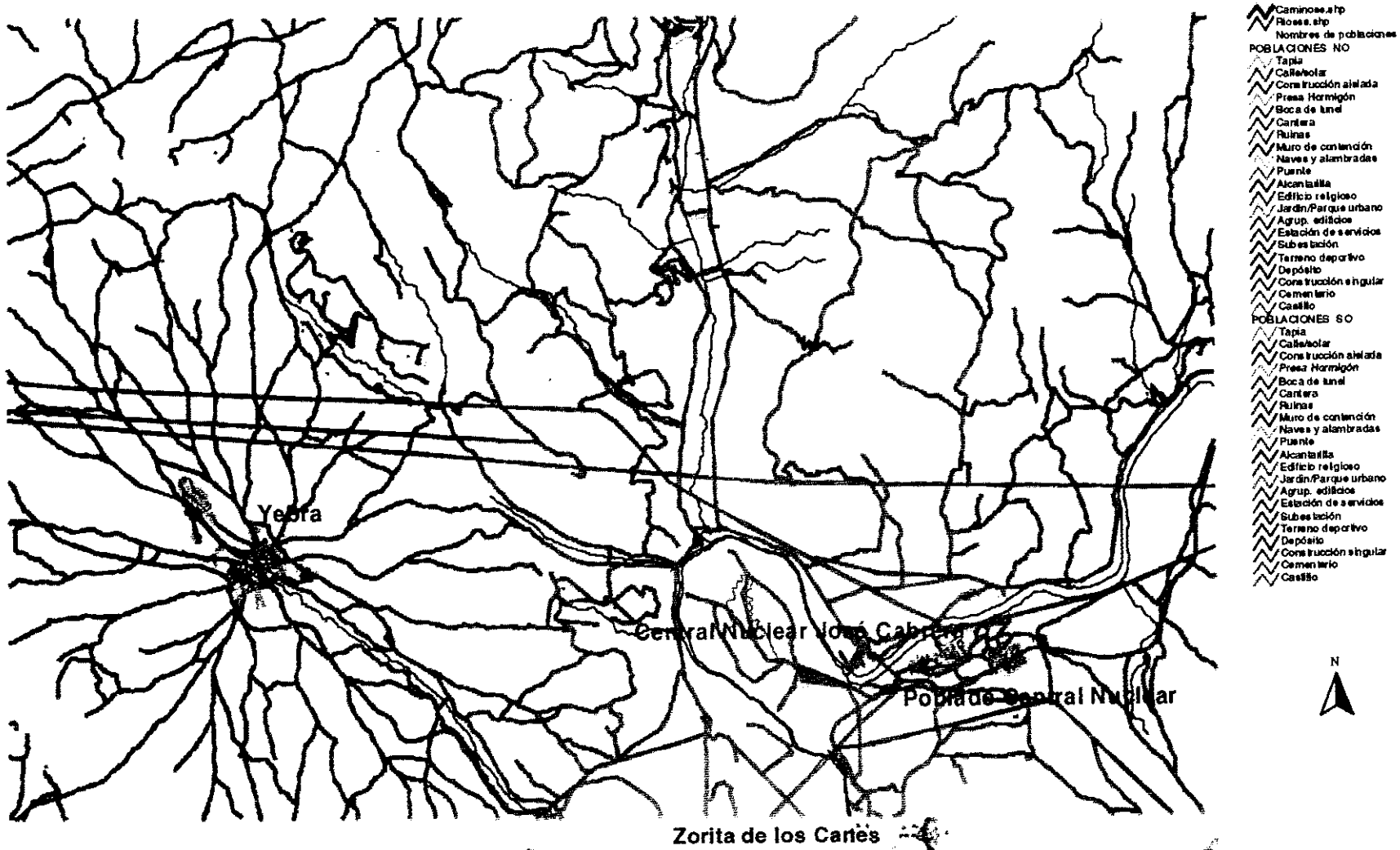


Figura 6.6.2-1. Proyecto Cartopo.

### 6.6.3. PROYECTO CNJC1000.

Este proyecto recoge la información en detalle de la Central. Presenta toda la información del entorno cercano a la Central (figura 6.6.3.-1) en escala 1:1000.

- *Topografía.*
- *Geología.*
- *Situación de sondeos de Información Geofísica.*
- *Perfiles de las cimentaciones de la Obra Civil.*
- *Base de Datos de Análisis realizados.*
- *Bases Numéricas de evolución piezométrica de los sondeos.*
- *Etc.*

Además de las bases de datos con los valores de las medidas de la piezometría en la terraza y los diferentes parámetros observados en los análisis radiológicos y físico-químico (pH, concentraciones, conductividad, etc); estos valores se encuentran representados en gráficas de evolución.

Así, para observar la evolución del nivel medido en cada uno de los piezómetros de forma gráfica (figura 6.6.3.-2), u obtener las características de un determinado sondeo, tan solo es necesario seleccionar en el plano representado en pantalla ese sondeo, obteniendo de forma ágil y rápida toda la información disponible.

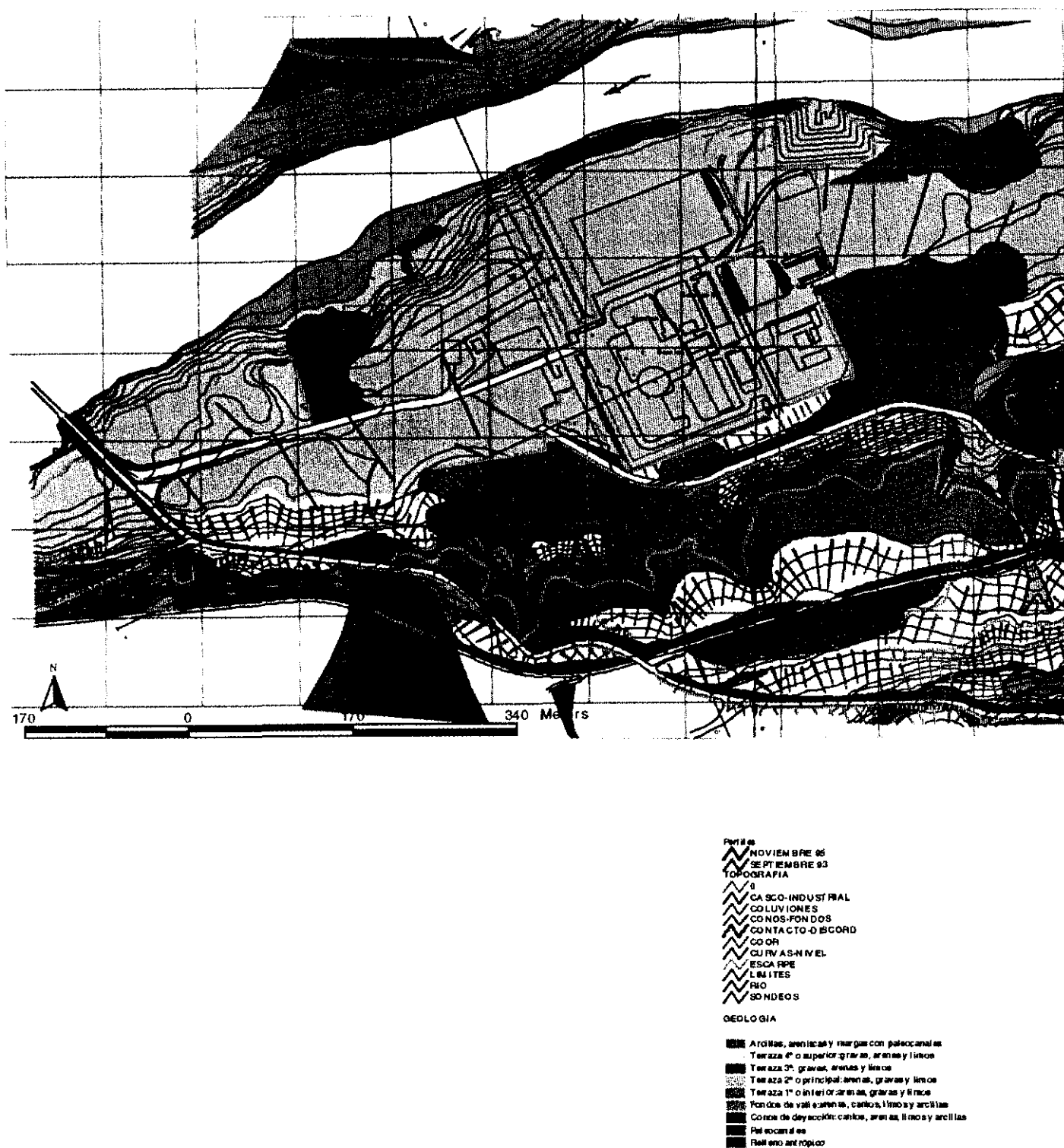


Figura 6.6.3.1. Proyecto CNJC 1000.

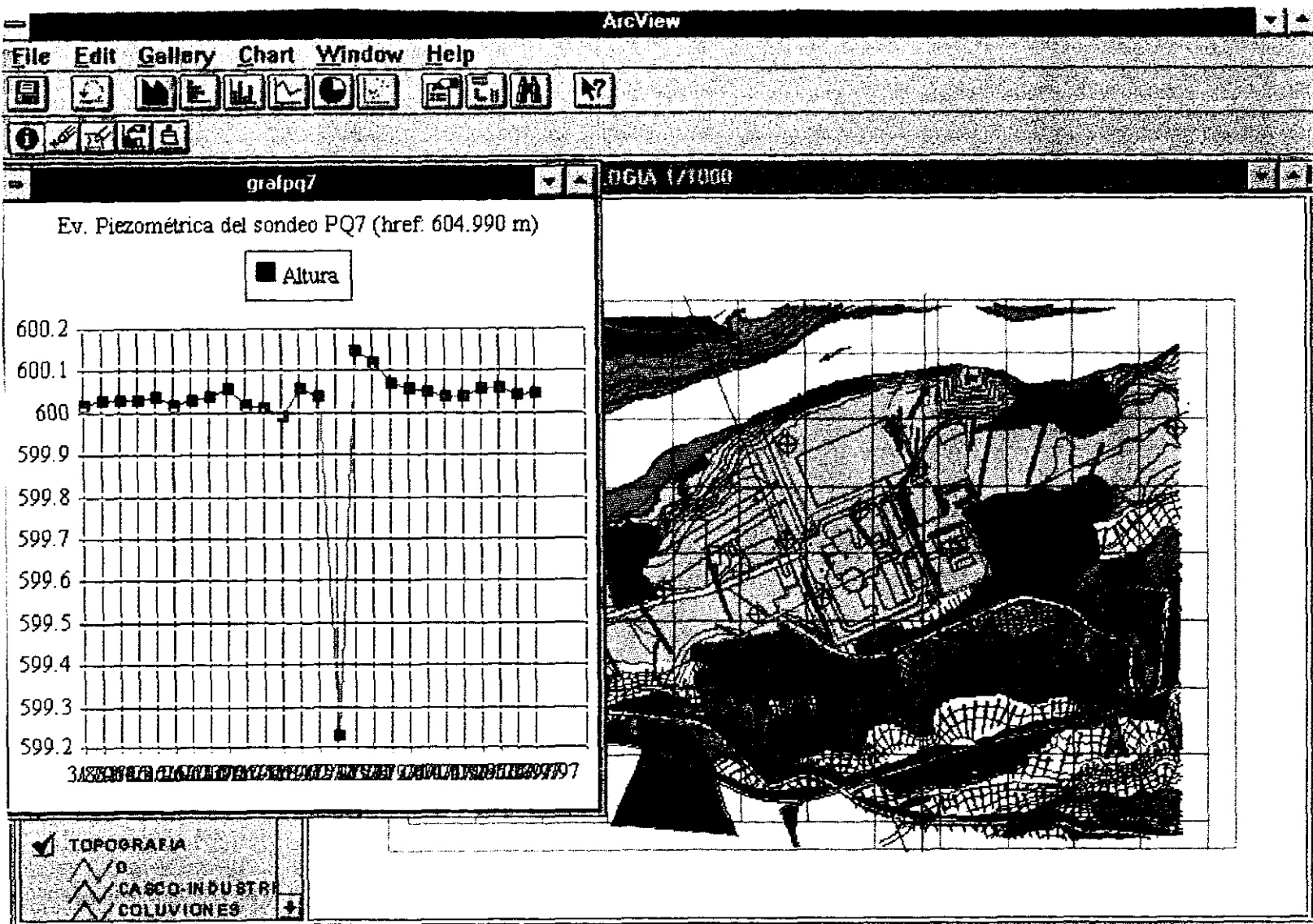
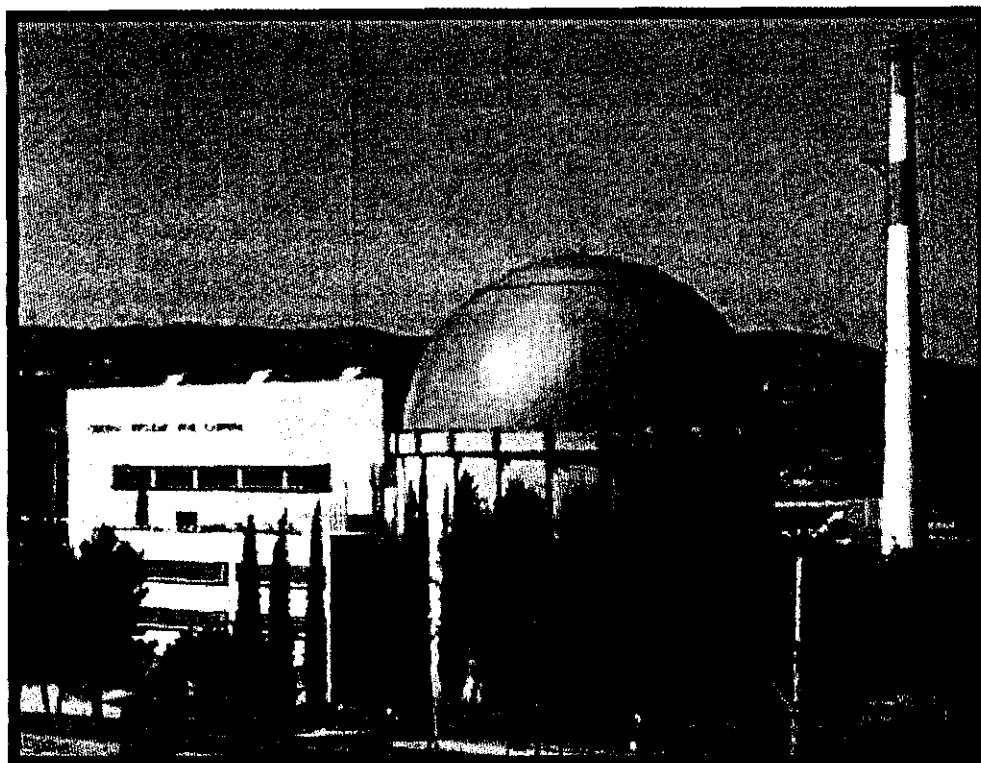


Figura 6.6.3.2. Proyecto CNJC 1000.



# **SIMULACION DE RIESGOS DE CONTAMINACION QUIMICA Y RADIOQUIMICA MEDIANTE EL EMPLEO DE SISTEMAS INFORMATICOS:**

**APLICACIÓN AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA**



## **CAPITULO III PARTE EXPERIMENTAL**



---

## 1 OBJETIVOS.

---

En el capítulo I, INTRODUCCIÓN, se describe la Organización de Trabajos a desarrollar en la presente tesis, los cuales constituyen fundamentalmente los objetivos de esta Parte Experimental. En consecuencia, se pasa directamente a describir los trabajos realizados.

---

## 2 ESTUDIO GEOLOGICO DE DETALLE

---

Se ha realizado en el entorno próximo al emplazamiento de la Central, sobre una superficie aproximada de unos 12 km<sup>2</sup>.

La información se ha plasmado en una cartografía a escala 1:1.000 sobre la margen S. del Río Tajo, que es donde se encuentran las instalaciones de la Central y en un plano a escala 1:25.000 abarcando un área más extensa. (Anexos 2-1 y 2-2).

Además se ha trabajado a escala 1:5.000 para delimitar la subcuenca hidrográfica del área de la Central y establecer los límites del modelo matemático de la zona.

Como apoyo a la cartografía geológica e hidrogeológica se ha efectuado reportaje fotográfico aéreo a escalas 1:3.500 y 1:18.000 que ha permitido precisar diversos aspectos relacionados con la delimitación de la cuenca que afecta a la terraza aluvial, diferenciar niveles de terrazas, afinar contactos litológicos, o en el caso de los puntos de interés hidrogeológico, situarlos con precisión. (Anexo 2-3).

Básicamente el estudio ha consistido en el levantamiento de columnas de detalle, y seguimiento de los contactos y estructuras de las diferentes unidades reconocidas formalmente en la estratigrafía de la zona.

De cara a precisar la posición y morfología del contacto Cuaternario-Terciario en el área de las instalaciones de la Central se recurrió a una prospección por el método sísmico de refracción, realizándose diversos perfiles a lo largo de la terraza aluvial (en total 17). (Véase Apdo. 4).

Una vez analizada la información obtenida, se llevó a cabo una campaña de sondeos y ensayos complementarios (apartado 6) cubriendo todo el área de estudio, encaminados a completar la investigación del Terciario y Cuaternario en los siguientes aspectos:

### CUATERNARIO

- Caracterización litológica de los materiales de la terraza aluvial y toma de muestras para su análisis físico-químico y mineralógico.
- Obtención de los parámetros hidrológicos básicos: permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.
- Localización del nivel freático, cálculo de isopiezas, estudio de variaciones-oscilaciones, flujos, gradientes, direcciones ....
- Acceso al acuífero para el control hidroquímico.

### TERCIARIO

- Caracterización litológica, especialmente en relación con el contenido en finos de los materiales.
- Toma de muestras del suelo.
- Obtención de parámetros hidrológicos.
- Investigación piezométrica en el acuífero terciario.
- Toma de muestras de agua para el control hidroquímico.

Para ello se realizaron en una primera campaña 21 sondeos con las siguientes características:

- 10 sondeos en el Cuaternario aluvial, y alcanzando al menos 10 metros de profundidad. En ellos se realizó una testificación geofísica, a fin de establecer las características de los materiales, su variación en profundidad y posibles correlaciones entre las diferentes zonas de la terraza.

A continuación fueron instalados como piezómetros abiertos con el objetivo de establecer alturas de nivel piezométrico, calcular izopiezas, flujos, gradientes...

- 2 pozos de bombeo en el Cuaternario aluvial, de 10 m de profundidad. Fueron estudiados como los sondeos anteriores, pero se instrumentaron como pozos para la realización de los ensayos de bombeo de los materiales de la terraza aluvial, con el objeto de concretar sus características hidrológicas.
- 3 sondeos realizados con recuperación continua de testigo que, atravesando el Cuaternario aluvial, se introdujeron en el Terciario hasta los 70 m de profundidad. Fueron utilizados como referencia en la interpretación geofísica, y además en ellos se realizaron diagráfias y ensayos de permeabilidad tipo "slug" y "pulse" sobre tramos de materiales terciarios poco permeables.

Dos de estos sondeos resultaron surgentes al atravesar el tramo terciario superior poco permeable y alcanzar el nivel inferior confinado (entre 60 - 80 m de profundidad), de manera que se comprueba una falta de conexión entre el acuífero Cuaternario y el Terciario subyacente.

- 6 sondeos en la ladera que limita la terraza por el sur, que atravesando materiales terciarios alcanzaron profundidades variables (desde 19.5 a 60 m) para caracterizar los materiales. Estos sondeos fueron testificados mediante geofísica y también se instalaron como piezómetros para el control del acuífero terciario.

Toda la investigación permitió establecer la geología detallada en el área de la Central. A continuación se describen las unidades reconocidas.

## 2.1. NIVEL ANTRÓPICO.

Sobre el depósito aluvial se identifica una capa de suelo superficial antrópico constituido por rellenos y materiales con su estructura natural alterada, que se encuentran "impermeabilizadas" en superficie, debido a las construcciones de la Central y a las zonas asfaltadas existentes: aparcamiento y carreteras de servicio dentro y fuera del recinto vallado.

Igualmente la cimentación de los edificios y estructuras de la Central se introducen en el depósito Cuaternario y actúan como barreras y modifican el flujo natural de agua existente.

## 2.2. CUATERNARIO.

### TERRAZAS ALUVIALES (Véase figura 2.2-1).

Se localizan a ambos lados del río, alcanzando una gran extensión en la zona.

Comenzando por las que se sitúan a niveles inferiores y partiendo de la cota 599,8 para el Río Tajo en las inmediaciones de la Central, encontramos:

- **Terraza 1<sup>a</sup>** o inferior, localizada a 0,5 m sobre el río y que se corresponde con los sedimentos más actuales eminentemente limosos, aunque pueden presentar también arenas y gravas.
- **Terraza 2<sup>a</sup>** correspondiente a la antigua llanura de inundación, y que se localiza entre las cotas 600 y 610 aproximadamente. Sobre ellas se asienta la Central.

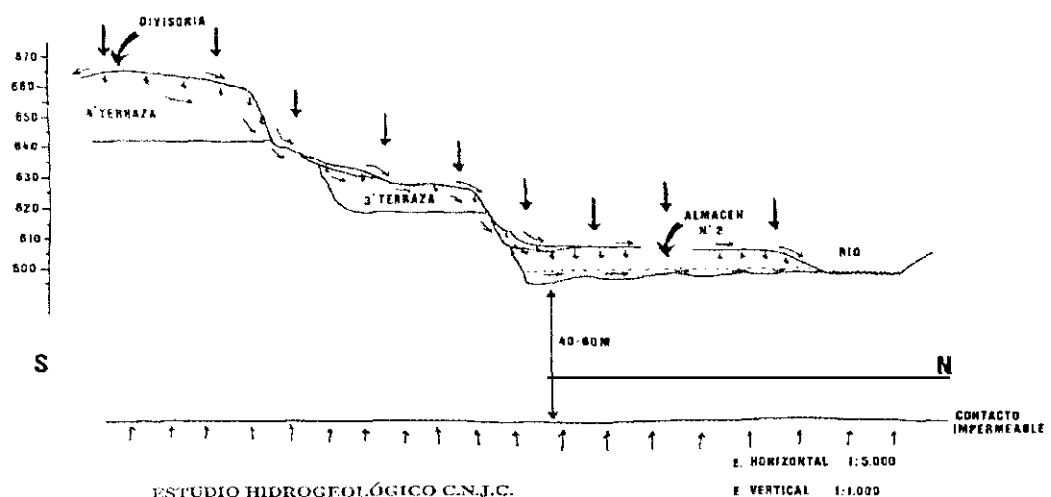


Figura 2.2-1. Terrazas aluviales.

En esta zona se encuentra una terraza aluvial de entre 250 y 350 m de ancho, unos 1.700 m de largo en la zona de posible influencia de la Central y no supera los 9 m. de espesor. (Ver cartografía geológica escalas 1:25.000 y 1:1.000 de los Anexos 2-1 y 2-2).

Está constituida por gravas, arenas más o menos finas y cierta proporción de limos que varían de unos puntos a otros.

Presentan varios niveles bien diferenciados en su estructura interna y tiene una potencia que oscila entre los 4 y 9 m, apoyando mediante un relieve erosivo directamente sobre el Terciario.

La columna tipo de los materiales que constituyen la terraza aluvial es la siguiente:

- Un nivel superficial formado por arena y suelo vegetal más o menos antropizado, o en su caso un nivel fino de relleno y asfalto.
- Debajo, un nivel de materiales finos constituidos principalmente por arenas y limos de color marrón-rojizo y con una potencia que puede variar entre 30 cm, y 1,20 m. según las zonas. Este nivel puede no aparecer en algunas zonas.
- Nivel de arenas bien clasificadas con escasos finos en los que se pueden distinguir estructuras (barras arenosas, laminaciones cruzadas, ...). La potencia de este nivel puede variar entre 1 y 4 m.
- Tramo compuesto por varios niveles de gravas y arenas aumentando el tamaño de grano hacia el muro. Estas gravas pueden estar sueltas y limpias o bien unidas con cemento carbonatado constituyendo una costra que limita el depósito cuaternario.

Este tramo de gravas puede alcanzar un espesor de 3 m en las zonas donde está más desarrollado.

Estos horizontes se han podido reconocer gracias a las excavaciones efectuadas para la instalación de la torre de refrigeración, y concuerdan con las informaciones extraídas de los estudios previos.

El nivel de base del Cuaternario formado por gravas que constituyen un nivel más o menos cementado de espesor variable (entre 70 cm y 3 m), ha sido identificado en los sondeos y produce una respuesta en los perfiles sísmicos al tratarse de una capa más rígida sobre las que las ondas se desplazan a mayor velocidad que en el Cuaternario suelto, con lo que la cota que establece la geofísica en ocasiones coincidiría con el techo de este material.

El nivel cementado aparece en los siguientes sondeos:

SONDEO	ESPESOR	COTAS
PR1	2,5 m	6,60 - 9,10 m
PR2	1,5 m	6,15 - 7,65 m
PR3	Presenta gravas poco cementadas, aumentando el grado de cementación entre 6,25 y 6,8 m: 55 cm	
PQ1	0,8 m	5,2 - 6,0 m
PQ2	0,7 m	4,9 - 5,6 m
PQ4	1,3 m	6,5 - 7,8 m
PQ5	1,0 m	5,6 - 6,6 m
PQ8	0,95 m	6,25 - 7,2 m
PQ12	0,80 m	6,2 - 7,0 m

Además aparecían gravas cementadas en la base de la terraza de toda la zona donde se construyó la torre de refrigeración durante 1995, así como en los sondeos realizados para la construcción de la central en 1963.



Nivel de areniscas bien drenado en contacto con la terraza aluvial cuaternaria CNJC.

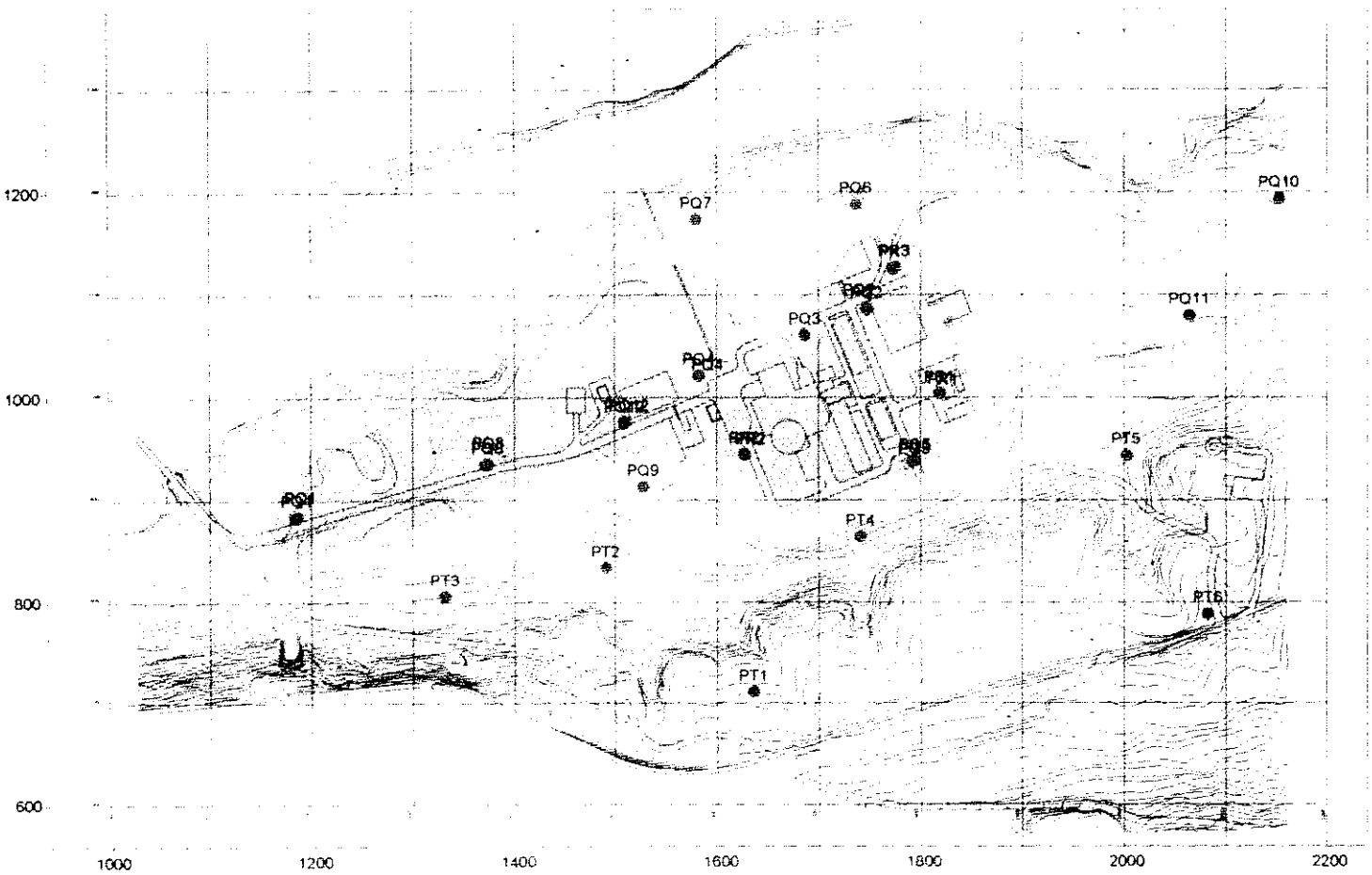




**Detalle del acuñamiento del nivel de areniscas a favor de capas arcillosas. Obsérvese el rezume entre los materiales cuaternarios aluviales, y las arcillas terciarias.**

En la figura 2.2-2 se representa la zona en la que se constata el nivel de gravas cementado, mientras en el resto de la terraza aunque existe el nivel de gravas, descende el grado de cementación.

Figura 2.2-2. Localización de la zona en la que se han identificado gravas cementadas.



En la tabla siguiente se presentan las granulometrías disponibles, representativas de los materiales de los distintos niveles de la terraza, que pueden facilitar la estimación del coeficiente de almacenamiento del acuífero. Las curvas granulométricas se encuentran en el Anexo 2.2-1.

MUESTRA	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRÍA			DESCRIPCIÓN
		% GRAVAS	% ARENAS	% FINOS	
GR-1	0,40 - 1,20 m	1,34	86,47	12,19	Arenas
GR-2	1,20 - 1,80 m	69,63	30,09	0,28	Gravas y arenas
GR-3	0,30 - 0,70 m	0,73	88,22	11,05	Arenas
GR-4	0,70 - 1,20 m	77,61	21,41	0,98	Arenas y gravas
GR-5	1,00 - 1,50 m	68,80	30,72	0,48	Arenas y gravas
M-1	0,35 - 0,55 m	1	9	90	Limos arenosos
M-2	0,50 - 0,70 m	1,5	24,5	74	Limos arenosos
M-3	0,10 - 0,30 m	1,5	70,5	28	Arena Limosa
Sondeo 2 Muestra 1	7,00 - 7,20 m	90	9,8	0,2	Gravas limpias sin matriz
Sondeo 3 Muestra 1	7,40 - 7,45 m	70	29,2	0,8	Gravas y arcillas

El límite inferior con el Terciario se encuentra a una profundidad variable entre 4-9 m. Se trata de una superficie erosiva de topografía irregular que se ha establecido mediante la información aportada por los cortes, sondeos, diagráfias y perfiles sísmicos.

Del análisis de los perfiles sísmicos obtenidos cabe destacar la morfología general suave del contacto y ciertas zonas con aspecto de "valle" que se pueden asociar a paleocauces erosivos poco marcados, pero que podrían tener cierto control en el flujo del agua particularmente en las épocas de sequía, con el freático muy deprimido.

Uno de estos paleocauces se ha situado en el borde S de la terraza con una dirección subparalela a la ladera terciaria y resulta ser de gran importancia a la hora de canalizar la circulación del agua en esta área concreta. Por tal motivo, se estimó conveniente la realización posterior de dos nuevos pozos situados sobre dicho paleocauce, para asegurar el control de un posible flujo canalizado del agua en esta área. En consecuencia, el número total de sondeos realizados, fue de 23.

La topografía de la superficie de contacto entre los materiales permeables del acuífero Cuaternario y el Terciario poco permeables se representa en las fotografías adjuntas correspondientes a la excavación para la construcción de la torre de refrigeración en 1995.

- **Terraza 3ª** está emplazada entre las cotas 614 y 635 metros aproximadamente, reconociéndose claramente en unas antiguas graveras en la otra margen del río, frente a la Central.

Está constituida igualmente por cantos silíceos (cuarcíticos y areniscosos) con claro predominio sobre los calcáreos. Es igualmente heterométrica aunque los cantos son algo menores y van desde subangulosos a redondeados.

Igualmente presenta estructuras sedimentarias del tipo de estratificación cruzada planar y en surco a pequeña escala y costras calcáreas.

- **Terraza 4ª** emplazada a partir de la cota 645 aflora frente a Central en la otra margen del río, en la parte superior del talud natural, y queda rápidamente enmascarada por las tierras de labor y también se identifica sobre el Terciario de la ladera al Sur de la Central. Se reconocen cantos heterométricos, que alcanzan gran tamaño, cementados en una matriz arenosa.



**Contacto erosivo entre la terraza aluvial cuaternaria, y niveles arcillosos y margosos terciarios CNJC.**



Contacto entre los materiales aluviales, y un nivel de arcillas plásticas miocenas CNJC.

### 2.3. TERCIARIO.

#### • **ARCILLAS LIMOSAS Y MARGAS CON INTERCALACIONES DE ARENISCAS (Oligoceno).**

Afloran claramente sobre el flanco N del anticlinal de Sayatón. Pueden reconocerse en el corte que origina la carretera comarcal 204 entre los puntos kilométricos Pk 11 y Pk 14 aproximadamente.

En la zona de la residencia de la Central, se reconoce igualmente bien esta unidad, aflorando en las proximidades de una pequeña vaguada. El contacto con la unidad superior está igualmente enmascarado por depósitos coluvionares y por depósitos de terraza de edad Pleistocena, constituidos por gravas y arenas fundamentalmente.

La descripción litológica es concordante con la estratigrafía observada a nivel regional, estando caracterizada por la presencia de arcillas con paquetes de margas intercalados de espesor decimétrico y niveles canalizados de areniscas.

Las areniscas se presentan como capas masivas de poco espesor, no superior a los 0,5 m, con una continuidad lateral que varía entre la decena y la centena de metros.

Los paleocanales presentan potencias medias de 2-4 m y una orientación próxima a NNE-SSO, con continuidad igualmente variable entre la decena a la centena de metros.

Se reconocen estructuras del tipo de estratificación cruzada de pequeña a media escala con secuencias positivas, así como tramos amalgamados.

El buzamiento de los materiales en las proximidades del contacto con la discordancia de la unidad superior está próximo a los 28-30°.

El paso a la unidad superior está enmascarado por coluviones o por las tierras de labor.

- **ARCILLAS YESÍFERAS Y YESOS (Mioceno).**

Al igual que la unidad anterior, es visible en los taludes de la comarcal 204, concretamente en los PK 11 y PK 15.

Los materiales que se reconocen en el flanco N del anticlinal de Sayatón son paquetes de arcillas y limos con nivelillos de yeso y con una orientación W-SO.

Este tramo aflorante queda rápidamente enmascarado por las terrazas detríticas pleistocenas, y con toda probabilidad es erosionado por la unidad superior igualmente discordante, no volviendo a reconocerse hacia el S, en la zona de la residencia de la Central como sucedía con los materiales oligocenos.

- **ARCILLAS, ARENISCAS Y MARGAS (Mioceno).**

Es la unidad base en el área de las instalaciones de la Central y sobre la que se disponen los materiales cuaternarios asociados a la dinámica fluvial, con un contacto discordante erosivo definitivo por las diferentes etapas erosivas y/o sedimentarias del río Tajo antes del depósito definitivo de este segundo nivel de terraza.

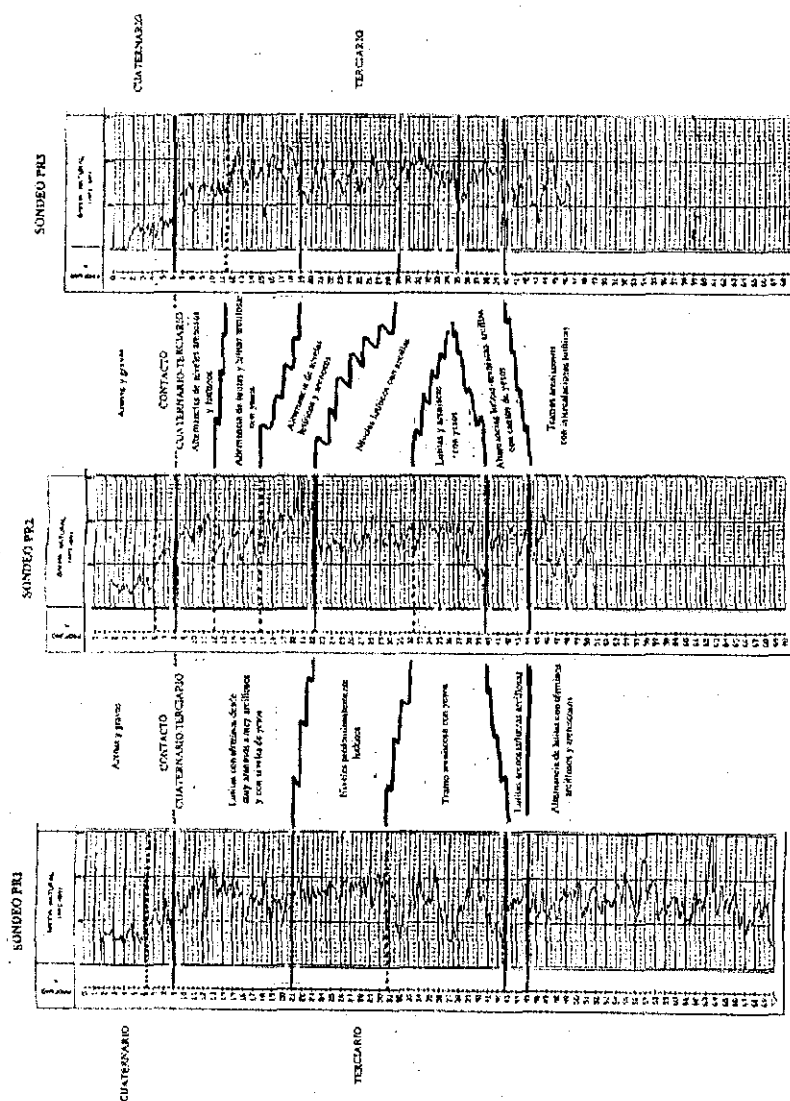
Los materiales miocenos afloran en el corte natural que propicia el Tajo justo en el margen N del río, frente a las instalaciones de la Central, y al S de las mismas, a lo largo de toda la ladera, en una franja entre la terraza aluvial y los niveles cuaternarios que tiene encima: las terrazas colgadas y el coluvión. Se siguen también en los taludes de la carretera comarcal 200 a la altura del PK 84 en dirección hacia Almonacid de Zorita.

En las proximidades de la Central los mejores puntos de observación se localizan en el Cerro de la Pangía, y en la ladera E del Portillo.

Esta formación está constituida por arcillas, yesos, limos, margas, calizas y areniscas, intercaladas y combinadas entre sí, en niveles masivos o estratificados más o menos continuos y potentes.

La continuidad lateral de estos niveles no es demasiado grande, produciéndose acuñamientos y solapamientos entre materiales de diferente naturaleza.

Las descripciones litológicas de los sondeos con recuperación continua del testigo y los registros geofísicos de las diagramas han servido para establecer correlaciones litológicas como la que se presenta en la figura 2.3-1.



**Figura 2.3-1. Correlaciones litológicas del terciario en los sondeos PR, a partir del registro gamma.**

Predomina la alternancia de paquetes arcillosos de 2 a 4 m con intercalaciones de tramos margosos de 0.2-0.3 m de espesor.

Intercalado aparece algún nivel arenoso de morfología irregular y escasa continuidad lateral limitada a unas pocas decenas de metros en el área de la Central. Son algo más permeables que el resto del material pero limitados en extensión y potencia por tratarse de paleocanales y depósitos asociados a la dinámica de abanico aluvial del Mioceno.

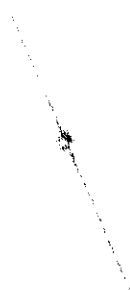
Los niveles arenosos son más frecuentes en las proximidades del contacto con la unidad inferior arenosa. Hacia el E predominan los canales con abundantes muestras de estructuras sedimentarias.

Se reconocen cicatrices erosivas y estratificación cruzada en surco y planar. También se identifican niveles arenosos de secuencias de desbordamientos de canal.

El tamaño de grano oscila de fino a medio, si bien en la base de las secuencias positivas pueden aparecer tamaños gruesos.

Se han procedido a medir las direcciones de los paleocauces en los afloramientos próximos a la Central, y se han representado las mediciones en un diagrama en roseta. (Fig. 2.3-2).

**FIG. 2.3-2**



Método de cálculo: Frecuencia  
Intervalos: 10 grados  
Filtro: Desactivado  
Tipo de datos: Bidireccionales  
Rotación: 0 grados  
Número de datos: 33  
Porcentaje máximo: 12.1%  
Porcentaje mínimo: 6.7%  
Desviación estándar: 3.22%  
Vector: 336.76 Grados  
Intervalo de confianza: 52.73 Grados

En el diagrama se pueden diferenciar dos orientaciones predominantes que se han asociado a dos sistemas de abanicos aluviales de carácter húmedo independientes.

El primer sistema tiene una orientación predominante cercana a N-S (N 170° E), coincidentes con la dirección regional de aportes a la cuenca del Tajo, con un área fuente localizada en el Sistema Central.



Los canales con esta orientación, presentan un perfil bien definido, encajado en los materiales arcillosos con potencias medias comprendidas entre el metro y los 4 m y secuencias positivas, además de estructuras sedimentarias del tipo de estratificación cruzada en surco y estratificación cruzada planar.

El ambiente de depósito puede asociarse con la zona distal de un abanico aluvial húmedo, con facies de granulometría fina y muy fina, surcadas por zonas canalizadas de granulometría más gruesa (arenas).

Existen también secuencias de abandono de canal, mal definidas y poco desarrolladas en extensión.

El segundo sistema presenta una orientación oblicua próxima a N 300° E con un área fuente situada en la cercana Sierra de Altomira. Se caracteriza por presentar estructura de mayor energía con estratificación cruzada y festoneada, acompañados de rasgos erosivos. Presenta además un clara cementación por carbonatos de los sedimentos y aparecen de clastos calizos que evidencian la naturaleza del área fuente.

Este sistema se hace visible a media altura en la serie, concretamente en algunos taludes situados al S del emplazamiento de la Central, a la altura del trazado del antiguo ferrocarril.

Es posible que en algún momento del Mioceno Inferior-Medio estos dos abanicos coexistieran, aportando sedimentos a la cuenca dentro de un sistema de abanicos aluviales húmedos interdigitados.

En el diagrama de rosas siguientes se han representado las direcciones y buzamientos de los canales de arenisca existentes en los alrededores de la Central y en el se observan las dos direcciones preferentes de depósito.

El contacto con las unidades infrayacentes impermeables es discordante en el caso de las arcillas y yesos, y discordante-erosivo en el de las arcillas y areniscas, quedando oculto por los materiales de las terrazas pleistocenas, si bien puede intuirse con bastante precisión en base a los afloramientos existentes. En la zona de la Central se sitúa entre 60 - 80 m de profundidad.

La discordancia con las unidades inferiores se refleja en una disposición de las capas subhorizontal, con un suave alabeo en dirección SO y con unos buzamientos a nivel regional de 3-4°.

Se dispone de curvas granulométricas representativas de los materiales Terciarios situados en los niveles superiores, en concreto unas arcillas rojas compactas tomadas entre 14 y 15 m de profundidad que presentan los siguientes resultados:

		PROFUNDIDAD	GRANULOMETRIA			DESCRIPCION
			%GRAVAS	%ARENAS	%FINOS	
Sondeo 2	Muestra 2	9,20 - 9,60 m	4	19	17	Arcilla roja a verdosa con algunas gravas y cabronatadas.
Sondeo 2	Muestra 3	14,70 - 15 m	13	9	78	Arcilla roja compacta con nódulos de hierro.
Sondeo 3	Muestra 2	9,40 - 9,80 m	18	3	79	Arcillas rojas con yesos.
Sondeo 3	Muestra 3	14,20 - 14,60 m	14	13	73	Arcilla roja compacta con nódulos de yeso.

Al compararlas con los datos del Cuaternario se observa un cambio significativo en el contenido en materiales finos de estas muestras. Las curvas granulométricas se recogen en el referido Anexo 2.2-1.

En cuanto a la zona meteorizada del Terciario, a partir de los diferentes datos se ha establecido una potencia comprendida entre los 3 y 5 m en las zonas de la terraza, acorde con la observación directa realizada en la excavación para la torre de refrigeración. En esta trinchera se pudo acceder a los materiales superficiales terciarios (3 m) y comprobar efectivamente la naturaleza y alteración de los mismos. Sin embargo, en la zona de la ladera el tramo más permeable y/o alterado, podría alcanzar potencias mayores en algunas zonas.

Terrazas a ambos lados del rio Tajo.



---

### 3 HIDROLOGIA EN EL AREA DE LA CENTRAL

---

#### 3.1. HIDROLOGIA SUPERFICIAL.

En el entorno de la Central el curso de agua principal, el Río Tajo, se encuentra regulado por el salto de Zorita y las aportaciones de Bolarque, permaneciendo generalmente a una cota de 599,8 m pero con ligeras oscilaciones. (Figura 3.1-1).

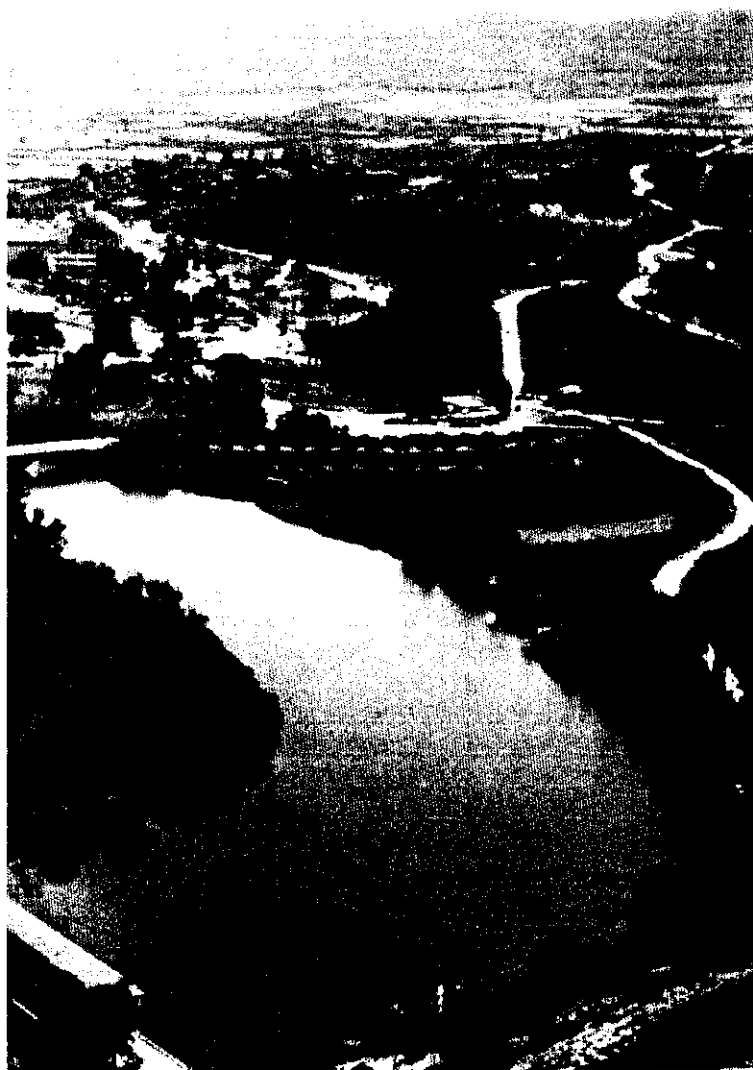


Figura 3.1-1. Embalse de Zorita. Cota 599.8 m.

No existen otras corrientes fluviales permanentes próximas y solo en momentos de lluvia se produce circulación superficial canalizada en cárcavas y torrentes de erosión sobre la ladera terciaria que limita al sur de la terraza aluvial.

La circulación superficial está marcadamente definida por la combinación del tipo de materiales aflorantes en la zona y el clima, factores que a su vez definen el relieve, la vegetación y el paisaje.

Se trata de un drenaje definido por la erosión del terreno y que funciona en episodios de lluvia.

Las aguas que afloran en esta zona están relacionadas con niveles acuíferos locales definidos en los depósitos cuaternarios, especialmente los niveles de terraza superiores.

Se han inventariado únicamente una surgencia próxima, la fuente (NC-59) en la zona de acceso al poblado de viviendas de la Central, que procede de la canalización de un manantial captado en el cruce de la carretera hacia Zorita de los Canes, frente a la casilla de camineros (NC-59). Se trata del agua recogida en las terrazas aluviales colgadas que cubren la ladera terciaria en la zona superior (véase Apdo. 5).

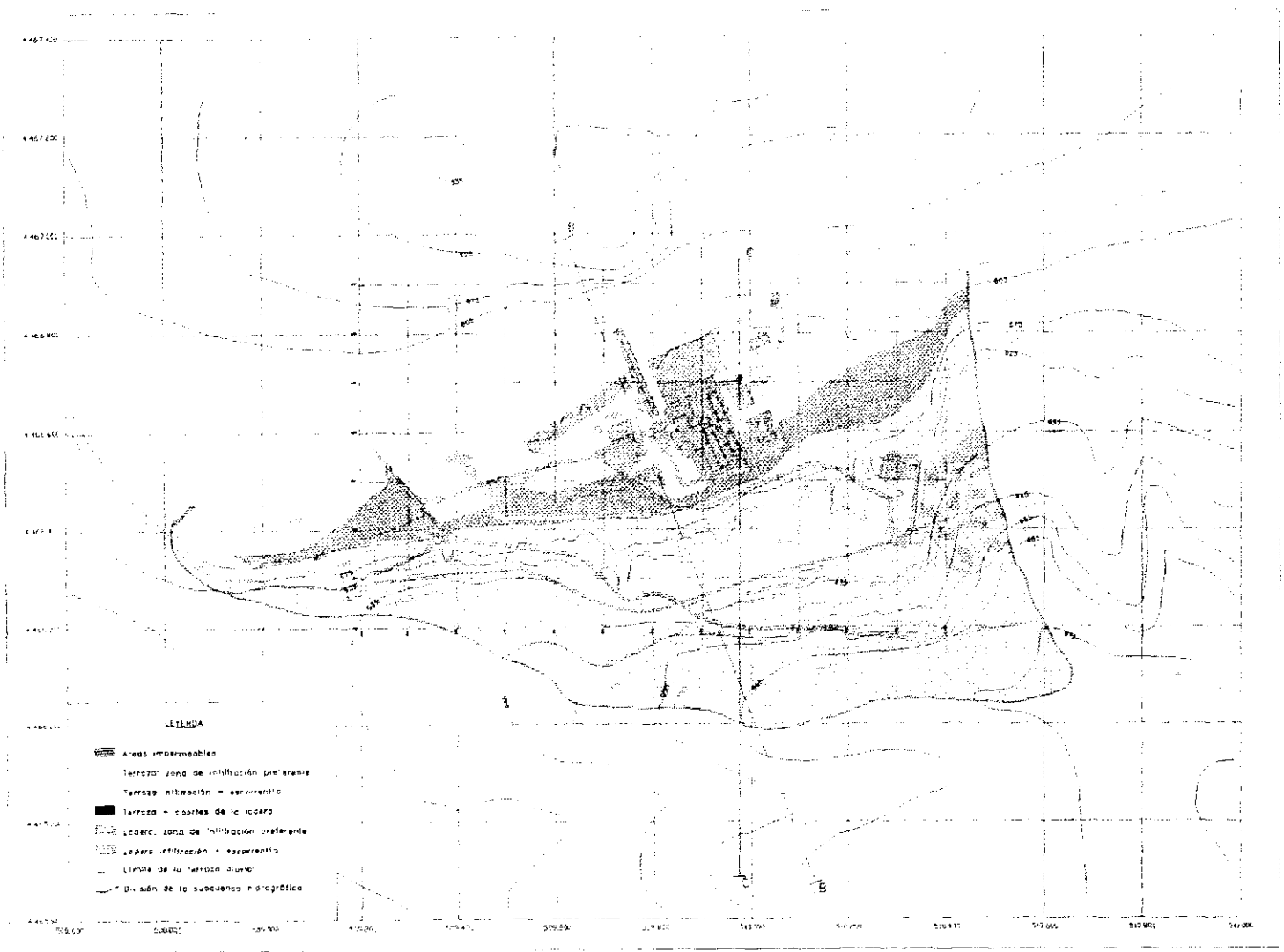
La Central y sus instalaciones anexas se abastecen a través de captaciones del río.

En la figura 3.4.1-1 del Capítulo II se mostraban los embalses de la Cuenta Alta del Tajo, que abastecen el de Zorita.

### **3.2. BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO.**

Se ha realizado un balance hidrometeorológico a partir de la información recogida en los diferentes informes meteorológicos de la Central y tomando como superficie de referencia la subcuenca hidrográfica natural de la Central, tal y como se representa en la Figura 3.2-1.

Figura 3.2-1. Distribución espacial de la lluvia.



Se dispone de temperaturas y precipitaciones medias en los observatorios de la zona desde 1960. Dado el carácter local de la zona a modelizar los cálculos se han realizado con los datos de las estaciones del Salto de Bolarque y Salto de Zorita, previamente contrastados.

Además se utilizan datos meteorológicos recientes de los observatorios de la zona durante los años 1992, 1993, 1994, 1995 y 1996 todos ellos debidamente tratados y comprobados.

La evapotranspiración real se ha calculado mediante la fórmula de Thornthwaite y el coeficiente de escorrentía con la fórmula de Coutagne.

Los resultados obtenidos en este balance hidrometereológico general son:

Precipitación	449,2 mm/anuales
Evapotranspiración real	330,54 mm/anuales
Escorrentía	72 mm/anuales
Infiltración	46,66 mm/anuales
Precipitación = ETP real + Escorrentía + Infiltración	
ETPr	73,58%
E	16,03 %
I	10,39 %

Estos valores teóricos obtenidos a partir de fórmulas empíricas deben adaptarse a las condiciones de la zona a modelizar, por ello se ha realizado un balance hídrico de detalle que se recoge en el apartado 12 de la presente tesis.

Para la realización del balance hídrico y la cuantificación de la recarga se ha identificado la subcuenca en la que se incluye el área de la Central.

La superficie de esta subcuenca es de unos 0,985 km<sup>2</sup> de los cuales 0,363 km<sup>2</sup> son de terraza aluvial subhorizontal y 0,622 km<sup>2</sup> son ladera terciaria.

Las características del área de estudio permiten establecer diferentes zonas en función de la distribución espacial de escorrentía e infiltración.

Tal y como se expone en la figura 3.2-1, estas zonas son:

- Areas impermeables: Son las zonas construídas y/o cubiertas por pavimento, de manera que la lluvia que reciben se recoge y canaliza casi íntegramente. Esta agua no entra en contacto con el acuífero.
- Zonas de la ladera cuya precipitación eficaz se convierte prácticamente entera en infiltración debido a las características del terreno.
- Zonas de ladera con precipitación eficaz dividida en escorrentía e infiltración.
- Areas de la terraza que se recargan con lluvia caída sobre ella. En esta zona se distinguen 2 subzonas:
  - Zona en la que la precipitación eficaz se reparte en escorrentía e infiltración.
  - Area que por sus características (especialmente llanas e "independizadas" del resto), convierten su precipitación eficaz en infiltración. Estas zonas suelen coincidir con las áreas ajardinadas de la Central, que además reciben riego.
- Areas de la terraza que, además de su precipitación eficaz, reciben aportes de la ladera.

Los materiales que recubren la ladera se recargan con el agua de la lluvia y drenan a favor de pendiente, bien como escorrentía superficial canalizada y localizada a través de los canales de erosión y cárcavas existentes, o bien infiltrada a través de los materiales porosos recargando la terraza aluvial por su borde sur.

La escorrentía superficial que recorre la ladera llega a la terraza y parte se infiltra recargando el acuífero, pero otra parte se incorpora a la red de drenaje superficial del aluvial.



### 3.3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA TERRAZA ALUVIAL SOBRE LA QUE SE ENCUENTRA LA CENTRAL.

En el depósito aluvial cuaternario se realizaron 2 ensayos de bombeo en los pozos PQ-5 y PQ-12 obteniéndose los siguientes valores: (Véase Apdo. 7).

Permeabilidad (K)	7-15 m/día
Transmisividad (T)	15-25 m <sup>2</sup> /día

Estas características singulares del sistema acuífero Cuaternario son responsables de que no se hayan registrados descensos en los piezómetros de control que rodeaban los pozos de bombeo.

Dadas las características de la terraza aluvial y al localizarse los niveles piezométricos entre 3,30 m y 6,50 m. de profundidad en la zona de terraza los parámetros determinados corresponden a los niveles inferiores de las arenas bien clasificadas y al tramo de gravas que según las zonas puede tener diferente potencia y variable grado de cementación.

Las diagrfias de los sondeos PR-2 y PR-3 (Véase Apdo. 6) han permitido estimar que la porosidad del tramo arenas-gravas del Cuaternario se halla en torno al 20%. Esta porosidad ha sido obtenida a partir de la sonda Densidad y de porosidad neutrónica corregida por la arcillosidad.

### 3.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES CUATERNARIOS QUE CUBREN LA LADERA.

Sobre el Terciario, en la zona de ladera al Sur de la Central que afecta al tramo de terraza en estudio, se apoyan 2 tipos de materiales Cuaternarios: Un depósito coluvionar y las terrazas colgadas del río.

El coluvión de extensión irregular y escasa potencia se encuentra más o menos erosionado y recoge el agua de lluvia que recibe la ladera. El nivel de Terraza Superior es subhorizontal y más o menos homogéneo y está constituido por cantos síliceos, arenas y finos.

Ambos son materiales detríticos con una permeabilidad por porosidad media-alta como corresponde a las partículas que los constituyen.

Se trata de un sistema acuífero superficial colgado y restringido, que recoge el agua de lluvia descargándola sobre la terraza aluvial, bien en forma de escorrentía o infiltrada a través de estos materiales circulando a favor de la pendiente del terreno sobre el límite permeable que establece el Terciario sano.

### 3.5. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DEL TERCIARIO.

Los materiales terciarios afloran a lo largo de toda la ladera situada al sur de la terraza aluvial actual, en una franja entre los niveles cuaternarios que tienen encima: Las terrazas colgadas y el coluvión.

Se trata de niveles de arcillas, areniscas y margas miocenas intercaladas y combinadas entre si en niveles areniscosos irregulares intercalados, más abundantes hacia el este.

Vistos los datos obtenidos en las diferentes fases del estudio en los materiales Terciarios se pueden distinguir 2 tipos en función de sus características hidrogeológicas:

- Desde el contacto con la terraza aluvial hasta los 60-80 m de profundidad.

Durante este tramo aparecen unos materiales de baja permeabilidad ( $K=2,74 \cdot 10^{-11}$  m/s) que confinan a los situados inmediatamente por debajo.

Actúan como barrera permeable impidiendo la comunicación entre el acuífero superior del aluvial y el inferior Terciario.

Los niveles superiores presentan cierto grado de alteración que los vuelve más permeables.

En la ladera sur, los espesores de los materiales terciarios alterados que recargan lateralmente la terraza oscilan entre 1,5 m en la zona del sondeo PT4 y 3,5 m en la zona del PT2.

- Por debajo de los 60-80 m de profundidad los materiales son más permeables, predominan los niveles arenosos sobre los arcillosos constituyendo un acuífero que se encuentra en carga.

Se trata de un nivel acuífero independiente del aluvial que se alcanzó con los sondeos profundos de recuperación, que resultaron surgentes.

Los ensayos de permeabilidad realizados en los sondeos que atraviesan estos materiales superan los  $4,43 \cdot 10^{-7}$  m/s.

### 3.6. RESUMEN DE LOS PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad, los registros de las diagráfias y las características texturales de cada uno de los materiales, se ha preparado la siguiente tabla resumen con los valores de permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento para cada uno de los tipos de materiales presentes en el área de estudio.

### PARAMETROS HIDROGEOLÓGICOS DE LOS MATERIALES

MATERIALES	PERMEABILIDAD	TRANSMISIVIDAD	C. ALMACENAMIENTO
NIVEL ANTRÓPICO	$10^2 - 5 \times 10^2$ m/día	$4 \times 10^2 - 2 \times 10^4$ m <sup>2</sup> /día	$2 - 3 \times 10^{-1}$
CUATERNARIO			
TERRAZA ALUVIAL ACTUAL (1ª)	$10 - 10^2$ m/día	$2 \times 10^1 - 3 \times 10^2$ m <sup>2</sup> /día	$15 \times 10^{-2}$
TERRAZA ALUVIAL SOBRE LA QUE SE UBICA LA CNJC (2ª)			
Nivel de arenas y suelo vegetal antropizado.	$10^2 - 1$ m/día	$1 \times 10^3 - 0,4$ m <sup>2</sup> /día	$1,0 \times 10^{-1}$
Nivel de arenas y limos de color marrón rojizo	$10^2 - 1$ m/día	$3 \times 10^2 - 1,2$ m <sup>2</sup> /día	$1,0 - 2,5 \times 10^{-1}$
Nivel de arenas bien clasificadas	$10 - 100$ m/día	$10 - 400$ m <sup>2</sup> /día	$1,0 - 3,5 \times 10^{-1}$
Nivel de gravas	$10^3 - 10^4$ m/día	$3 \times 10^2 - 3 \times 10^4$ m <sup>2</sup> /día	$1,5 \times 10^{-1} - 3,5 \times 10^{-1}$
Nivel de gravas cementadas	$7 - 15$ m/día	$15 - 25$ m <sup>2</sup> /día	
TERRAZAS COLGADAS (3ª Y 4ª)	$10 - 10^3$ m/día	$25 - 21 \times 10^3$ m <sup>2</sup> /día	$1,5 \times 10^{-1}$
COLUVIÓN	$10^2 - 1$ m/día	$1 \times 10^2 - 5,5$ m <sup>2</sup> /día	$1,0 \times 10^{-1}$
TERCIARIO			
NIVEL ALTERADO.	$10^2 - 10^{-4}$ m/día	$1,5 \times 10^2 - 5,5 \times 10^{-4}$ m <sup>2</sup> /día	$5 \times 10^{-2}$
NIVEL DE ARCILLAS, YESOS, LIMOS, MARGAS, CALIZAS Y ARENISCAS.	$1,39 \times 10^{-9} - 2,74 \times 10^{-11}$ m/día	$3,51 \times 10^{-8} - 1,00 \times 10^{-9}$ m <sup>2</sup> /día	$2 \times 10^{-2}$
NIVEL DE ARCILLAS LIMOSAS Y MARGAS CON INTERCALACIONES DE ARENAS.	$2,2 \times 10^{-5} - 4,42 \times 10^{-6}$ m/día	$1,58 \times 10^{-4}$ m <sup>2</sup> /día	$1,0 \times 10^{-1}$

En la figura 2.2.-1 se esquematizaba los flujos de agua existentes en la zona:

- El agua de lluvia cae sobre los materiales terciarios y cuaternarios. En función de la permeabilidad de cada material y dependiendo de la pendiente y el grado de recubrimiento vegetal en la zona, parte de esta agua se evapotranspira. El resto se distribuye en escorrentía superficial e infiltración,
- El agua que se infiltra a través de las terrazas superiores, en parte queda retenida y otra parte circula subsuperficialmente aportando agua lateralmente a la terraza principal.
- La escorrentía de la ladera también se recoge lateralmente la terraza, pero circulando sobre la superficie. Cuando llega a la zona plana, bien se infiltra o bien es drenada como escorrentía de la terraza hasta el río.
- El agua de lluvia que cae directamente sobre la terraza aluvial, parte queda retenida en superficie y el resto se infiltra como recarga natural del acuífero cuaternario.
- En cuanto a los materiales terciarios, el nivel superior (hasta 40-60 cm de profundidad) es muy impermeable. Únicamente en la zona superficial puede retener cierta cantidad de agua coincidiendo con un nivel arenoso algo más permeable o una zona alterada.
- El acuífero existente en el nivel de terciario más permeable se encuentra en carga, es por tanto independiente del nivel acuífero superior y cualquier perforación hasta estas capas resulta surgente.

---

## 4 INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

---

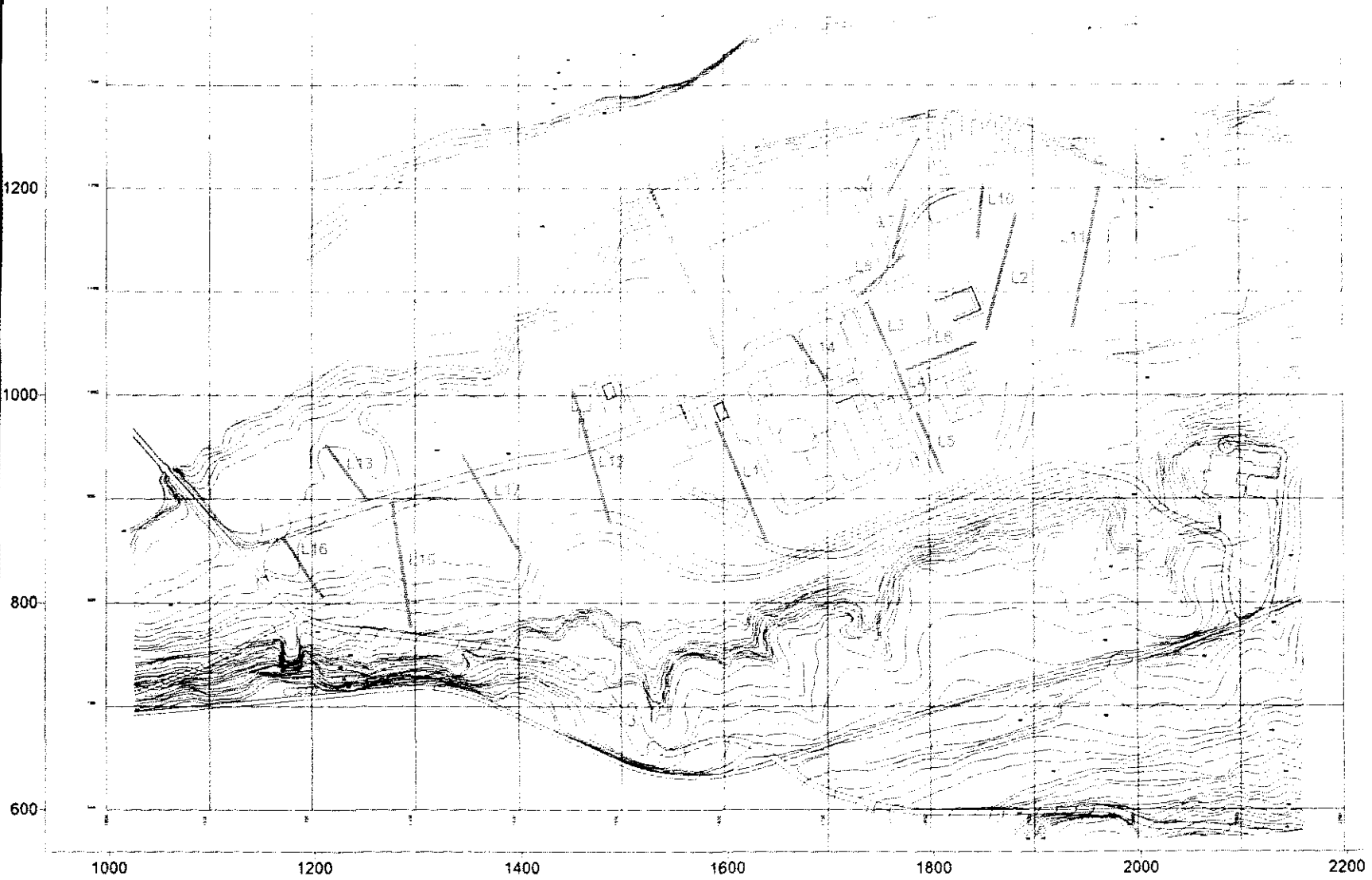
Tras las cartografías geológica e hidrogeológica de detalle y una vez identificados y caracterizados los materiales que afloran en la zona, se realizó en Noviembre/1995 una campaña de prospección geofísica consistente en una sísmica de refracción, para situar en profundidad el contacto de la terraza aluvial con el Terciario subyacente.

Este método fue escogido frente a otros (eléctricos, georadar, etc) debido a que ya se había aplicado con anterioridad en la zona y se tenían buenas referencias de los resultados.

En concreto, la campaña desarrollada en la primavera del año 93, aplicando explosivos como fuente de energía, evidencia la existencia de un buen contraste entre los diferentes materiales a identificar y permitió fijar el orden de velocidades medias para cada reflector.

Aprovechando este dato, así como la mayor facilidad para interpretar y combinar los resultados con las campañas anteriores, se planificó el estudio de la terraza mediante el método citado, realizándose un total de 17 implantaciones y 1130 m registrados. La situación de estos perfiles se muestra en la siguiente figura 4.1.

Figura 4-1. Localización de las líneas de sísmica.



Las velocidades  $V_p$  medias ya conocidas para los diferentes refractores en las campañas previas que fueron las siguientes:

Recubrimiento superficial	300 - 500 m/s
Aluvial	900 - 1000 m/s
Terciario superficial (meteorizado)	2500 m/s
Terciario sano	2900 m/s

Estos rangos de velocidades son concordantes con los resultados obtenidos en la campaña de Noviembre/95 y han permitido definir con precisión las características y morfología del contacto, integrando toda la información disponible de las sucesivas prospecciones sísmicas.

Los resultados han permitido identificar 3 niveles de materiales con un comportamiento diferenciado en relación con la transmisión de las ondas sísmicas a su través.

El nivel más superficial presenta un espesor variable entre 0,8 y 2,5 m, con las velocidades de propagación más bajas y corresponde al recubrimiento superficial poco consolidado (suelo natural, rellenos, removimiento de terreno).

A continuación se identifica un nivel a través del cual la onda se transmite con mayor rapidez. Se trata de un material más consistente en el que la onda alcanza velocidades del orden de unos 950 m/s y que corresponde con el depósito aluvial propiamente dicho. Estos materiales presentan un espesor que varía entre 1,6 y 7 m según las zonas.

Un dato muy significativo es el que el nivel freático sólo se ha podido precisar en zonas muy concretas (perfiles L1, L11, L12 y L17) debido a que en muchas ocasiones el espesor saturado era inferior al metro, por lo que no era detectado con la configuración utilizada en el espaciado de los geofonos (5m).

Se evidencia así el buen drenaje del aluvial, y la baja posición relativa del nivel freático, próximo a la cota 600.

Por último se identifica un material de una mayor rigidez que se había interpretado como Terciario más o menos alterado en función de la velocidad que alcanzaban las ondas.



Las observaciones directas del terreno en las zonas accesibles y la información aportada por los sondeos de investigación de las diferentes compañías, han mostrado la existencia de un nivel de gravas en la base del Cuaternario que presenta importantes variaciones, tanto en potencia como en grado de cementación, a lo largo de toda la terraza. Este nivel puede alcanzar una potencia de hasta 4 m en algunas zonas, siendo inexistente o de escasa entidad en otras. Su grado de cementación lo convierte en un bloque rígido y competente utilizable como nivel de cimentación de estructuras en algunas zonas (torre de refrigeración) quedando reducido a una simple acumulación de gravas limpias, en otras.

Por tanto el reflector detectado por las ondas y que podría interpretarse como el tránsito Cuaternario-Terciario indica únicamente un cambio en las características de los materiales, que aumentan en competencia y/o rigidez y que puede suponer o no en un cambio la edad geológica de los mismos.

Este cambio puede deberse a la existencia de un nivel de gravas lo suficientemente potente o cementado como para producir un cambio en el comportamiento de las ondas detectable por los geófonos, o bien signifique el tránsito desde una formación más o menos arenosa (terrazza aluvial) a otra predominante arcillosa (Terciario).

Por ello este nivel en ocasiones se corresponde con materiales del techo del Terciario y en otras se trata de un nivel de base del Cuaternario.

En todo caso, desde el punto de visto hidrogeológico, el nivel identificado por la geofísica se corresponde con el tránsito desde un material permeable a otro con menor permeabilidad, ya sean los conglomerados cuaternarios o las arcillas terciarias.

Por tanto como límite inferior de la terraza, se identifica la cota a partir de la cual el agua encuentra una barrera que le crea dificultades para su circulación con profundidad, se trata pues, de un contacto hidrogeológico.

Del análisis de los perfiles sísmicos obtenidos cabe destacar la morfología general suave y ciertas zonas con aspecto de "valle" que se pueden asociar a paleocauces erosivos poco marcados, pero que podría tener cierto control en el flujo de agua particularmente en las épocas de sequía, con el freático muy deprimido.

La traza que siguen puede asemejarse a un ligero arco acorde con el que generan los escarpes naturales de la zona Sur del emplazamiento de la Central, alcanzado una cota entre 1,5-2,0 m más encajada en el Terciario que el resto del contacto.

#### **4.1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

Tal y como se decía, en junio de 1993, la empresa INTERNATIONAL GEOPHYSICAL TECHNOLOGY, S.A. (IGT) realizó una serie de estudios geofísicos para la caracterización de los materiales del recubrimiento y del substrato Terciario. Tal estudio incluyó la ejecución de algunos perfiles sísmicos de refracción empleando explosivos como fuente de energía.

Los registros obtenidos pusieron de manifiesto la efectividad del método sísmico de refracción para determinar el espesor de los materiales del conjunto Cuaternario debido a que sus valores característicos de  $V_p$  son muy diferentes de los correspondientes al substrato Terciario: 900-1000 m/s para los primeros frente a 2500-3000 m/s para los segundos. Como información complementaria pudo determinarse además en algunos perfiles la posición del nivel freático ya que la zona saturada del aluvial se caracteriza por valores de  $V_p$  de 1500 m/s, que es la velocidad de una onda de compresión en el agua.

En este nuevo estudio, realizado también por IGT, se ha pretendido determinar la posición y morfología del contacto entre el Cuaternario y el Terciario. También se ha tratado de identificar la posición del nivel freático, aunque la resolución de este segundo objetivo depende en gran parte de algunas características del medio geológico con independencia de la metodología de trabajo que se aplique.

Los trabajos de campo se llevaron a cabo entre los días 20 y 24 de noviembre de 1995.

#### **4.2. TRABAJO REALIZADO.**

##### **4.2.1. METODOLOGÍA.**

Una de las formas de caracterización de los materiales del subsuelo mediante medidas físicas realizadas en la superficie del terreno es la determinación de la velocidad de transmisión de una onda compresional a través de los macizos rocosos. Esta velocidad ( $V_p$ ) depende directamente del grado de compacidad y cohesión de los materiales a través de los que se produce la propagación y por lo tanto es considerada como un indicador geomecánico.

El método sísmico de refracción consiste en la determinación de la velocidad  $V_p$  característica de las diferentes capas del subsuelo y también del espesor de cada una de ella hasta el rango de profundidad investigado. Su aplicación exige que la velocidad  $V_p$  de las diferentes capas del terreno crezca con la profundidad, al objeto de que puedan resolverse todas las capas significativas:

La ejecución de un estudio mediante sismica de refracción consiste en medir los tiempos invertidos por una onda compresional en llegar a través del subsuelo a una serie de sensores (geófonos) situados alineados en la superficie del terreno. Esta onda se produce por medios mecánicos en un punto determinado de la superficie del terreno, alineado con el perfil definido por la línea de geófonos.

La toma de datos en un perfil exige la repetición de las medidas para una serie de diferentes emplazamientos del punto donde se produce la señal (punto de tiro), sin variar la posición de los geófonos (figura 4.2.1-1). Se define como implantación al conjunto de geófonos que se mantienen en una posición fija para el registro de los tiempos de llegada correspondientes a una serie de señales producidas en puntos diferentes de la línea. (Figura 4.2.1-2).

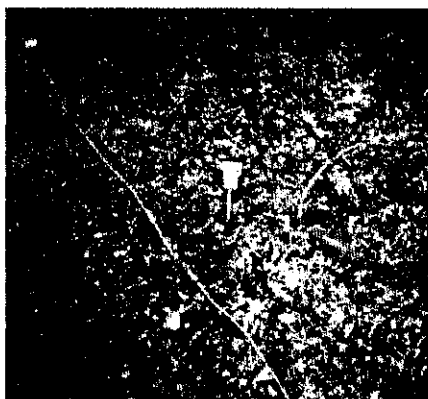


Figura 4.2.1-1. Geófonos.



Figura 4.2.1-2. Equipo de Registro.

El procesado de los registros sísmicos incluye una serie de etapas básicas, comunes a cualquiera de los posibles métodos de cálculo utilizables. Se realizan por medios informáticos a partir de los datos digitales obtenidos en campo y son las siguientes:

- a. Determinación del tiempo de llegada a la onda compresional a cada geófono y para cada tiro.
- b. Construcción de un gráfico (dromocrónica) tiempo-distancia llevando en abscisas las distancias desde el punto de tiro a los geófonos y en ordenadas los tiempos de llegada de la onda compresional a cada uno de ellos. En cada implantación habrá pues tantas dromocrónicas como puntos de tiro.
- c. Análisis de las características de la sección sísmica correspondiente a cada implantación, identificando su número de capas en función de la morfología de cada dromocrónica.
- d. Interpretación cuantitativa de las dromocrónicas determinando la velocidad  $V_p$  y el espesor de cada capa de la sección sísmica. Para ello se aplican diversos métodos tales como el del Tiempo Intersectado en el Origen o el Recíproco Generalizado, entre los más conocidos.

#### 4.2.2. TOMA DE DATOS.

Los parámetros más significativos a tener en cuenta durante la obtención de los registros en campos son:

- Espaciado entre geófonos.
- Número de geófonos por implantación.
- Número de puntos de tiro por implantación.
- Fuente de energía y modalidad de medida (señal única o stracking).

Se da por sentado que los registros se efectúan en forma digital en todo caso, porque la precisión con que ha de medirse el tiempo de las primeras llegadas a cada geófono no permite el empleo de registros analógicos como documento básico.

El espaciado entre geófonos es el factor que condiciona la precisión en la resolución de las capas superficiales de reducido espesor. La regla aplicable al respecto es que cuanto menor sea el espaciado entre geófonos mayor será la resolución del dispositivo de medida, aunque el empleo de espacios reducidos también implica un menor rendimiento y una menor capacidad de

penetración. Este último punto debe enunciarse con ciertas reservas, porque también depende de la distancia entre los puntos de tiro y los geófonos, según una relación directa.

El mínimo número de puntos de tiro que cabe realizar por implantación es dos, situados en los extremos de la misma. En este caso la determinación de espesores y velocidades de las capas solo puede hacerse en la vertical de los dos puntos extremos de la implantación. Cuando se pretende obtener información detallada de la sección sísmica a lo largo de toda la línea de geófonos es preciso realizar registros de algunos tiros adicionales. De forma general, puede afirmarse que un estudio de cierto detalle requiere del orden de cinco o más tiros por implantación, combinado con un pequeño espaciado entre geófonos.

La fuente de energía habitualmente utilizada para la producción de la onda compresional es el impacto de un martillo sobre una placa metálica situada sobre el terreno, (figura 4.2.2-1) aunque lo deseable es poder utilizar fuentes de energía más potentes como por ejemplo explosivos, al objeto de maximizar la relación señal/ruido por lo que la energía liberada al generar la onda compresional debe ser la mayor posible. También contribuye en este sentido la operación sumando en cada registro la señal de varios golpes producidos en el mismo punto, lo que se define como operación por "stacking".



**Figura 4.2.2-1. Placa metálica y martillo.**

Teniendo en cuenta todos y cada uno de los factores comentados, así como la experiencia del estudio realizado en 1993 se han obtenido los registros sísmicos de acuerdo con los detalles que se relacionan a continuación:

- Se utilizó un dispositivo de 12 geófonos por implantación, con espaciado de 5 metros, excepto para los geófonos 1 y 12 que se situaron a 2,5 metros de los números 2 y 11 respectivamente para aumentar la precisión en la resolución de la capa superficial.
- Ejecución de cinco tiros por implantación, distribuidos como se indica en la Figura 4.2.2.-2.

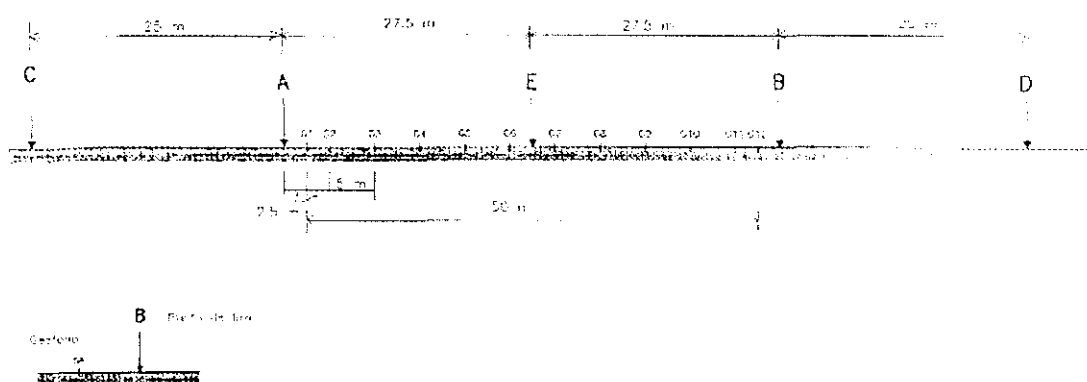
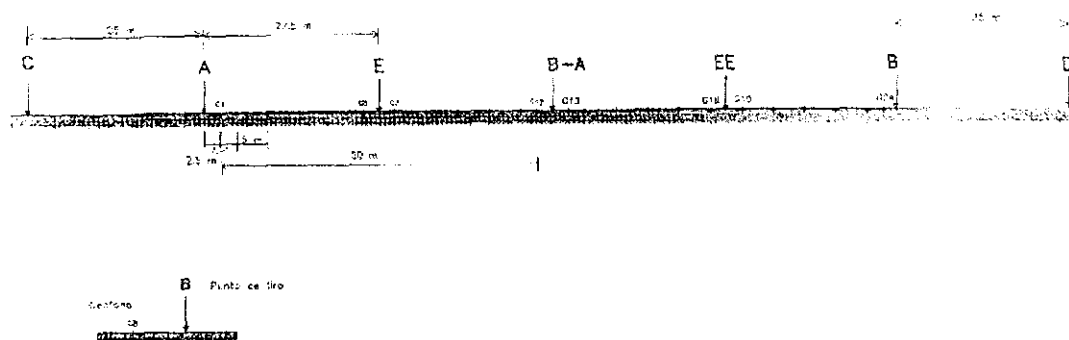


Figura 4.2.2-2. Dispositivo de medida en implantación de 12 geofonos.

- Dos tiros en los extremos de la implantación, a 2,5 metros de los geófonos 1 y 12.
- Un tiro central entre los geófonos 6 y 7.
- Dos tiros exteriores a 25 metros de los geófonos 1 y 12 respectivamente.

En los casos en que dos implantaciones se situaron una a continuación de otra, la distribución de geófonos y puntos de tiro fue la indicada en la Figura 4.2.2.-3, ya que la operación se efectuó con un sismógrafo de 24 canales.



**Figura 4.2.2-3. Dispositivo de medida en implantación de 24 geófonos.**

- Como fuente de energía se utilizó el impacto de un mazo metálico de 8 Kg sobre una placa de acero situada sobre el suelo.

Con la metodología descrita se midieron diecisiete implantaciones en las localizaciones preestablecidas. Son las indicadas en la Figura 4-1.

#### 4.2.3. MEDIOS MATERIALES.

Los medios materiales utilizados fueron los siguientes:

- Sismógrafo digital de 24 canales modelo STRATAVIEW R-24 de GEOMETRICS.
- Geófonos verticales tipo SM-4U de 10 Hz, fabricados por SENSOR NEDERLAND.
- Programas FIRSTRIX y GREMIX de INTERPEX.

### 4.3. PROCESADO E INTERPRETACION DE LOS REGISTROS.

El procesado de los datos se ha realizado utilizando los programas "FIRSTPIX" y "GREMIX" que operan sobre los registros digitales del sismógrafo Seisview.

El programa "FIRSTPIX" es una herramienta para la determinación precisa de los tiempos correspondientes a la llegada de la onda compresional a cada geófono identificado éstas fielmente. Para ello emplea una serie de utilidades tales como la capacidad para variar la amplitud del registro, seleccionar cada traza individualmente o conjuntamente con otras. También permite utilizar la edición de la posición y cota relativa de los geófonos y puntos de tiro, etc.

Con los tiempos seleccionados se genera un nuevo fichero dispuesto para su procesado mediante el programa "GREMIX" que realiza la determinación de espesores y velocidades de las capas. El tratamiento que el "GREMIX" realiza, incluye una serie de procesos diferenciados que se enumeran a continuación y que operan según los principios del Método Recíproco Generalizado:

- a. Revisión de los gráficos tiempo-distancia y edición y corrección de posibles errores en la selección de los tiempos de las primeras llegadas.
- b. Estimación de los tiempos recíprocos.
- c. Asignación de tiempos de llegadas a capas.
- d. Edición y visualización de las curvas "traveltime".
- e. Análisis de las curvas de velocidad (GRM).
- f. Análisis de la sección tiempo-profundidad.
- g. Edición gráfica de los resultados expresados en forma de distribución de velocidad en cada refractor y espesores de los mismos.

Con todo hay una parte fundamental del proceso que depende del interpretador, que ha de analizar las características de la respuesta del terreno y seleccionar en consecuencia los parámetros del procesado. El programa "GREMIX" es una herramienta de gran utilidad que permite operar de forma fiable y con rapidez.

El Método Recíproco Generalizado (GRM) fue introducido por Mr. Palmer en 1980. Se basa en la correcta separación de segmentos de los caminos recorridos por la onda compresional en las direcciones directa y recíproca. El factor clave en esta segmentación de los recorridos es la definición del parámetro XY óptimo (ver figura 4.3.-1). Se define como "XY óptimo" la distancia entre un geófono que recibe la señal del tiro directo y otro que la recibe del tiro inverso de modo tal que esta señal proviene del mismo punto del refractor (interfase o contacto entre dos unidades rocosas con diferentes valores de  $V_p$ ).



Para la situación simple reflejada en la figura 4.3.-1, la distancia óptima XY se define como:

$$XY_{opt} = 2 \sum Z_j \tan i_{jn} (A)$$

Esta ecuación es válida para situaciones en las que el buzamiento relativo entre refractores sea inferior a  $20^\circ$ .

Habitualmente el valor XY óptimo se determina a través del análisis de diferentes velocidades posibles y de las curvas tiempo-profundidad.

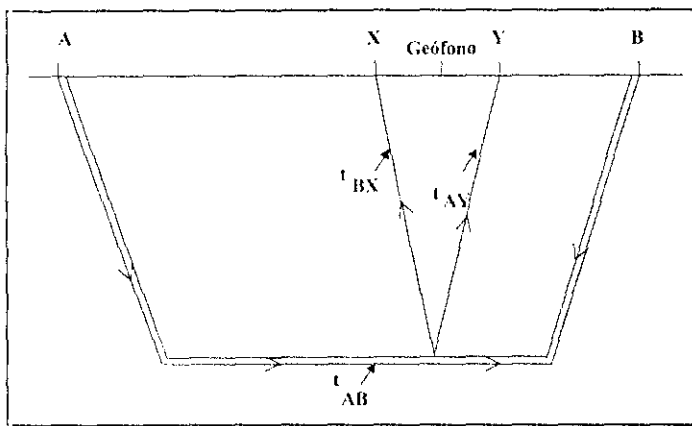


Figura 4.3-1. Esquema relativo a la definición del XY óptimo.

Definimos el parámetro tiempo-profundidad (tg) en un punto G mediante la expresión:

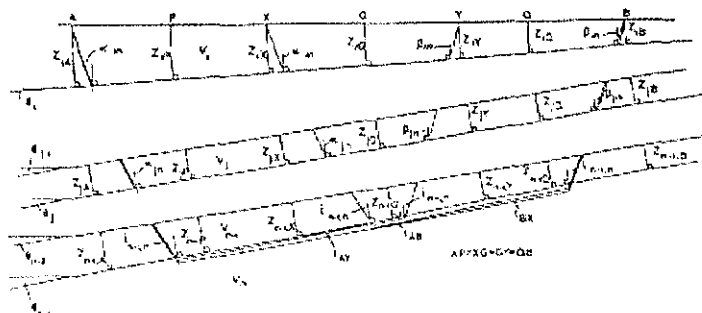
$$tg = (t_{AY} + t_{BX} - t_{AB} - XY/V_n)/2 \quad (B)$$

Donde  $t_{AY}$  y  $t_{BX}$  son los tiempos directos y recíprocos para los respectivos geófonos,  $t_{AB}$  es el tiempo recíproco y  $V_n$  es la velocidad del refractor en el punto de emergencia.

Existe una relación entre los valores tiempo-profundidad y la profundidad al refractor dada por la expresión:

$$Z(n-1)G = \{tg - 2 \sum Z_j G (V_n^2 - V_j^2)^{1/2} / V_n V_j\} / \{2(V_n^2 - V_n^{-1})^{1/2}\} \quad (C)$$

en la que  $Z_j G$  es el espesor de cada capa, medido perpendicularmente a los contactos como se representan en la figura 4.3.-2.



**Figura 4.3-2. Modelo para la formulación del Método Recíproco Generalizado.**

Durante el proceso de interpretación los valores  $Z(n-1)G$  se determinan de arriba hacia abajo. Primero se calcula para  $n=2$ , a continuación para  $n=3$ , etc.

Los valores tiempo-profundidad ( $tg$ ) para  $XY$  óptimo en el refractor  $n$  se calculan mediante la expresión (B), mientras que el número de capas y sus velocidades se determinan a través del proceso específico del Método Recíproco Generalizado que se detalla a continuación. Refiriéndonos a la figura 4.3.-1 se define una función de velocidad.

$$tv = (tAY - tBX + tAB) / 2 \quad (D)$$

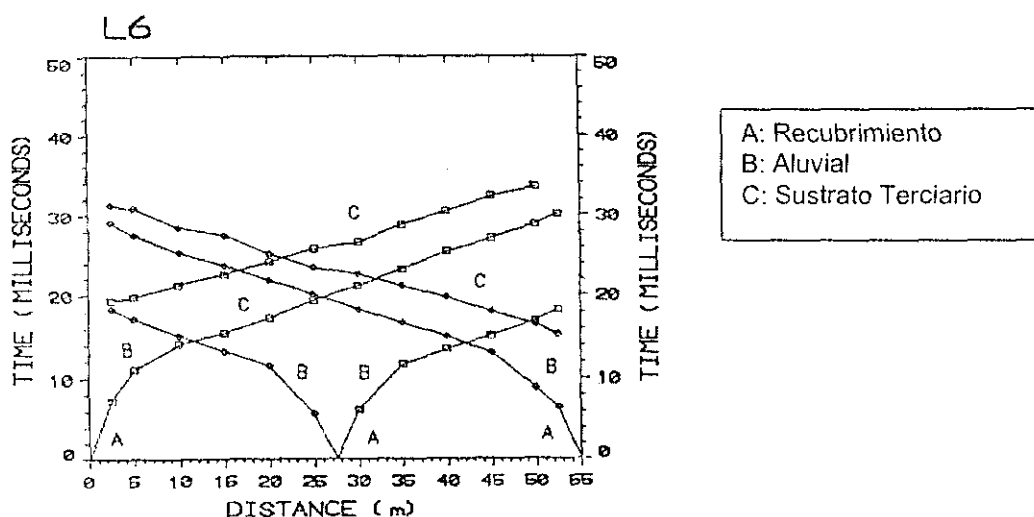
cuyos valores corresponden al punto  $G$ , punto central entre  $X$  e  $Y$ .

Una vez calculados para diferentes valores  $X-Y$  se representan los valores  $T_v$  en función de la distancia y mediante un proceso selectivo se determina el valor óptimo  $X-Y$  calculándose a continuación la velocidad del refractor como la inversa de la pendiente de la línea que se ajusta a los valores de  $T_v$  correspondientes al valor  $X-Y$  óptimo.

Con este proceso la determinación de espesores y velocidades de los distintos refractores se produce de forma continuada en toda la línea involucrada en las medidas. Este hecho comporta dos ventajas sustanciales respecto a otras técnicas convencionales de interpretación, como son la mejor definición de las posibles irregularidades de las superficies entre refractores y la detección de las variaciones de velocidad dentro de un mismo refractor. Su aplicación solamente es posible si existen llegadas recíprocas de cada refractor, lo que exige la ejecución de varios tiros por implantación.

### 4.3.1. ANALISIS CUALITATIVO DE LOS RESULTADOS.

La observación de las dromocrónicas pone de relieve las características del modelo sísmico de la zona de trabajo. Estas diferencias responden a variaciones en el espesor del recubrimiento Cuaternario, velocidad ( $V_p$ ) de éste y del sustrato Terciario, etc.



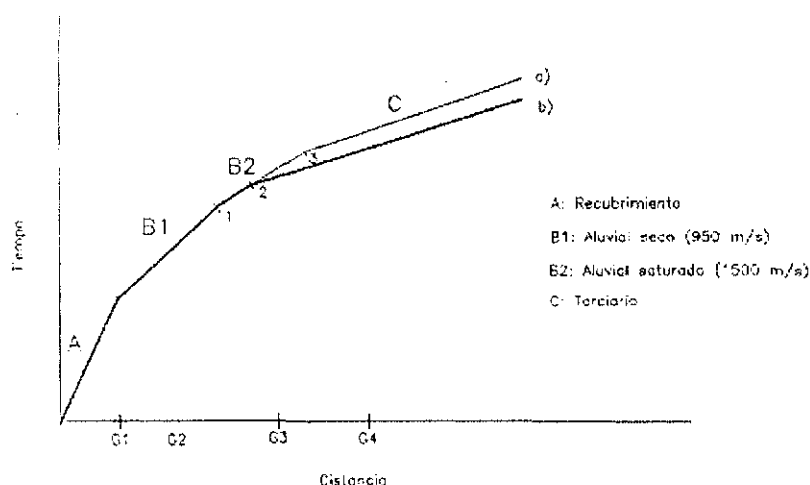
**Figura 4.3.1-1. Aspectos relevantes de las dromocrónicas.**

Mediante la figura 4.3.1.-1 que corresponde a las dromocrónicas de una de las líneas medidas, se ilustran la forma en que se manifiestan cada uno de los elementos relevantes de la sección sísmica. En nuestro caso son tres y vienen representados por segmentos de diferente pendiente en cada dromocrónica:

- A. Recubrimiento superficial constituido por materiales con mínimo grado de consolidación.
- B. Aluvial-coluvial parcialmente consolidado.
- C. Basamento Terciario consolidado.

Dentro del conjunto B cabe diferenciar a nivel teórico dos "capas" que corresponden a la zona saturada ( $V_p \approx 1500$  m/s) y no saturada ( $V_p \approx 1000$  m/s) del aluvial. De hecho estas "capas" pudieron interpretarse fielmente en algunas líneas del estudio de 1993. En términos prácticos esta diferenciación es casi posible en la mayoría de las líneas de medida en este trabajo, porque el espesor de la zona saturada es muy pequeño respecto al

espaciado entre geófonos y por lo tanto tal capa no llega a configurar un segmento diferenciado en las dromocrónicas. Para intentar resolver este aspecto sería preciso operar con espaciados del orden o inferiores a 1 metro lo que conlleva una reducción importante de la profundidad investigada y el riesgo de no poder resolver el primero de los objetivos del estudio. Se ilustra este hecho mediante la figura 4.3.1.-2. En ella diferenciados la zona seca de la zona saturada mediante dos segmentos B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> con diferente pendiente. La longitud del segmento B<sub>2</sub> que es el correspondiente a la zona saturada, es proporcional al espesor de ésta.



**Figura 4.3.1-2. Diferenciación de la zona saturada del aluvial en las dromocrónicas.**

Puede ocurrir como en el caso de la curva b) que cuando el espesor de la zona saturada es muy pequeño respecto al espaciado entre geófonos, el correspondiente segmento (1-2) de la dromocrónica no llega a manifestarse de forma diferenciada. Esto es lo que sucede en la mayoría de las líneas sísmicas de este caso.

En todos los registros y en sus correspondientes dromocrónicas resulta evidente la manifestación del substrato Terciario mediante el tramo final de mayor pendiente. Los valores característicos de  $V_p$  en esta formación varían de 2500 a 3000 m/s aproximadamente. Tales variaciones están condicionadas por la presencia de niveles de areniscas que tienen una velocidad mayor que las margas.

#### 4.3.2. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.

El documento característico resultante de este tipo de estudios es la sección sísmica. Una sección sísmica es análoga, aunque no siempre directamente comparable, a una sección geológica del terreno. En ella se representan las capas del subsuelo definidas por el estudio y caracterizados por su espesor y por sus valores de velocidad  $V_p$ .

A veces estas capas son directamente asociables a unidades geológicas, como por ejemplo recubrimientos. En otros casos una misma unidad geológica aparece subdivida en varias capas en la sección sísmica. El ejemplo más característico al respecto, es la zona meteorizada de las formaciones rocosas que, pese a su idéntica composición litológica, se diferencia en términos geofísicos de la roca sana.

Las secciones sísmicas obtenidas de este trabajo se presentan en los gráficos del ANEXO 4.3.2. En cada una de ellas se ha señalado las cotas tomadas del plano topográfico.

#### 4.4. RESUMEN.

Los resultados obtenidos del estudio pueden resumirse en los siguientes puntos:

- a. Existe una capa superficial con espesor de 1 a 2 metros constituida por materiales sueltos. Sus valores de  $V_p$  oscilan entre 300 y 500 m/s.
- b. El conjunto Cuaternario está formado por materiales parcialmente consolidados, situados en su mayor parte por encima del nivel freático. Quedan caracterizados por valores de  $V_p$  de 900-1000 m/s. Su espesor medio es del orden de 5 metros, con las variaciones puntuales que pueden apreciarse en las secciones sísmicas de Anexo 4.3.2.
- c. La zona saturada del Cuaternario prácticamente es inapreciable en los registros geofísicos debido a su pequeño espesor. Téngase en cuenta que el contacto Cuaternario-Terciario se localiza alrededor de la cota 598-600 metros y nivel freático en torno a la cota 601 metros, tal como hemos podido interpretar en algunos puntos aislados de las secciones sísmicas.
- d. El substrato Terciario se identifica fielmente en todas las líneas sísmicas como un refractor de alta velocidad,  $V_p=2500-3000$  m/s. Sus variaciones de  $V_p$  responden a la presencia de niveles de areniscas más consolidadas que las margas.

---

## 5 INVENTARIO DE PUNTOS DE INTERES HIDROGEOLOGICO Y USOS DEL AGUA

---

El inventario y usos del agua que a continuación se describe, ha sido elaborado en base a la siguiente información:

- i. Estudio Analítico Radiológico de la CNJC (marzo/92).
- ii. Censos del Uso de la Tierra y del Agua en el entorno de CNJC (1996).
- iii. Inventariado del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE).
- iv. Inspecciones de campo acompañadas por los alcaldes u otras personas de los Ayuntamientos de los pueblos estudiados.

En total se han inventariado 72 puntos de interés hidrogeológico dentro de un círculo de radio 30 Km alrededor de CNJC, centrándose en el cuadrante S aguas abajo de la Central, siguiendo el curso del Río Tajo.



Fuente de Albalate de Zorita

Las poblaciones incluidas en esta zona son las de Zorita de los Canes, Albalate de Zorita, Almonacid de Zorita, Almoguera, Mazuecos, Driebes, Leganiel, Estremera y Brea del Tajo. (Véase plano del Anexo 5-1).

Del total de manantiales inventariados se han visitado y controlado los incluidos en un sector de radio aproximado de 10 Km, siendo en total 46.

Los puntos de interés se han situado sobre el mapa hidrogeológico 1:25.000 (Anexo 5-2) y en las fotografías aéreas de la zona a escala 1:18.000 (Anexo 5-3) con el fin de facilitar su localización.

La información sobre cada punto se ha recopilado en unas fichas diseñadas para tal fin que recogen aspectos relativos a localización, caudales, explotación, usos del agua, situación administrativa..., que se adjuntan como Anexo 5-4.

Además se ha realizado una recopilación de información referente a los usos del agua en la zona de recogida en fichas en el Anexo 5-5.

Cada ficha recoge los aspectos relacionados con el uso del agua en cada una de las poblaciones comprendidas en un radio de 30 Km aguas abajo de la Central, incluyendo aspectos relativos a volúmenes, frecuencias de uso, beneficiarios, infraestructuras utilizadas y otros aspectos concretos en función del tipo de uso.

El resumen de toda esta información, se refleja en la siguiente relación adjunta.

# RELACION DE LOS MANANTIALES Y POZOS EXISTENTES

NorControl

## ZORITA DE LOS CANES

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
1	18 Julio-86 / 1 ITGE Mondejar/EAR-92	Fuente de la Cueva, 6 Km ESE del pueblo	Manantial "Madre Badujo"	0.5-1 l/s	Arenisca	Oligoceno	Agricultura	Pueblo	continua	si	Sufriendo la sequia
2	19 Julio-86 / 10 ITGE Pastrana/EAR-92	El Valle, a 1 Km NNE del pueblo	Fuente-Manantial	0.5-3 l/s	Conglomerado	Cuaternario	Abastecimiento	Pueblo	ocasional	contaminada	
3		Fuente del espino	Fuente-Manantial	1 l/s			Abastecimiento	Particular	continua		
4	Estudio Analítico Radiológico-92	1.5 Km Casa San Rafael	Manantial "Fuente de la Traja"	2 l/s			Abastecimiento	Pueblo	continua	salobre	Nivel superior al río
5	Estudio Analítico Radiológico-92	Cj Río Tajo, en el pueblo	Pozo	0.5-3 l/s			Abast. ocasional	Particular	ocasional		
6		Fuente del caracol, Finca del Saco	Fuente-Manantial	1 l/s			Agricultura	Particular	verano		
11	Estudio Analítico Radiológico-92	Finca "La Madera"	Manantial	1 l/s			Agr. Industrial	Particular	verano/continua		SURGENTE
12		Granja Avícola	Pozo	4 l/s			Agricultura	Particular		mala	
53		Finca con olivos a la salida del pueblo	Surgencia temporal	-----		Cuaternario	Agricultura	Particular	continua		
54		Finca "El Saco"	Pozo	-----			Abastecimiento	Particular			
56		Finca "El Saco"	manantial actualmente seco	-----							
57		Finca "El Saco"	Zona de vegetación hidrofila	-----							
58		Central hidráulica	Manantial	hasta 0.5 l/s			Abastecimiento	Central hidráulica	continua		Sufriendo la sequia
59	Fuente de la Casilla de Camineros	Casilla de camineros, Poblado	Fuente-Manantial	0.5-3 l/s			Abastecimiento	Poblado de la Central	continua		
7	Estudio Analítico Radiológico-92	En el pueblo	Captación río Tajo	aprox 200 l/s			Piscifactoria	Particular	continua		En desuso
8	Estudio Analítico Radiológico-92	3 Km NO Casa S Rafael	Captación río Tajo	70 l/s			Agricultura	Particular	verano		
9	Estudio Analítico Radiológico-92	600 m. S Finca "EL Saco"	Captación río Tajo	55 l/s			Gravera-Agr	Particular	verano		
10	Estudio Analítico Radiológico-92	Finca "Llano Bajo"	Captación río Tajo	50 l/s			Agricultura	Particular	verano		
55		Finca "El Saco"	Captación río Tajo	-----			Agricultura-maiz	Particular	continua		
60		Gasolinera	Captación río Tajo	-----			Industrial	Particular	continua		
13	Estudio Analítico Radiológico-92	1400 m. S Dehesa S Rafael	Captación río Tajo	10 l/s				Particular	continua		
	Estudio Analítico Radiológico-92	A lo largo del río	Captación río Tajo	1085 l/día			Ganado	Particular	continua		

## ALBALATE DE ZORITA

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
14	22 Julio-86 / 3 ITGE Mondejar	La Dehesa- Fuente del Gorgolón	Manantial	5-15 l/s			Agricultura	Ayuntamiento	continua	si	
71		La Dehesa	Manantial	5-10 l/s			Agricultura	Ayuntamiento	continua	si	
15	21 Julio-86 / 4 ITGE Mondejar	Arroyo del Campo	Manantial actualmente seco	-----	Arena-grava		Agricultura	Prop. Juan M <sup>a</sup> Domínguez		si	
16	5 ITGE Mondejar	Las Meieras	Manantial actualmente seco	-----	Margas		Desconocido	Prop. Hros de Venancio Pastrana			
17	23 Julio-86	Arroyuelo	Manantial	2-5 l/s			Agricult-Abas	Particular		si	
18	24 Julio-86	Lo Mayor	Manantial	5-10 l/s			Agricult-Abas	Pueblo	continua	si	
19	25 Julio-86	La Fuente	Manantial	5-10 l/s			Agricult-Abas	Pueblo	continua	si	
67		Nueva captación	Manantial	-----							
68		Captación de "Nueva sierra"	Manantial	-----			Abastecimiento	Urb. Nueva Sierra	continua		
69		El parral	Manantial	1-3 l/s			Agricultura	Pueblo, pequeñas fincas	continua		
70		Surgencias en fincas del pueblo- El parral	Manantial	0.5-2 l/s			Agricultura	Pueblo, pequeñas fincas	continua		

## ALMONACD DE ZORITA

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
20	16 Julio-86 / 2 ITGE Pastrana	Las Albercas	Manantial	20 l/s	Conglomerado	Cuaternario	Agricultura	Pueblo		si	
21	1 ITGE Pastrana	Fuente de Cifuentes	2 Manantiales	20 l/s	Margas-Caliza	Oligoceno	Agricultura	Pueblo			
22	11 Julio-86	La Juan Mayor	Manantial	10-15 l/s			Agricult-Abas	Pueblo	continua	si	
23		Fuente del Gobernador	Manantial	1-3 l/s			Abastecimiento	Pueblo	continua		
24	13 Julio-86	La Fuente Vieja	Manantial	2-5 l/s			Agricult-Abas	Pueblo	continua		
25	14 Julio-86	El Destajadero	Manantial	1-3 l/s			Agricult-Abas	Pueblo	continua	salobre	
26	15 Julio-86	Fuente San Anton	Manantial	-----			Abrevadero	Pueblo			
61		Antiguo camino del ferrocarril	Manantial	0.5-2 l/s			Agricultura	Pueblo, fincas próximas	continua		
62		Antiguo camino del ferrocarril	Regato	0.5-2 l/s			Agricultura	Pueblo, fincas próximas	continua		
63		Antiguo camino del ferrocarril	Canal de riego	0.5-2 l/s			Agricultura	Pueblo, fincas próximas	continua		
72		Puente Juncal	Vegetación hidrofila	-----							Tratamiento cañamo
64		Pozos de Cifuentes	Manantial actualmente seco	-----			Agricultura	Pueblo, fincas próximas			
15		Llanura	Manantial	0.5-2 l/s		Cuaternario	Agricultura	Pueblo, fincas próximas			
66		Fuente de la plaza del ayuntamiento	Manantial	1-3 l/s			Abastecimiento	Pueblo			



## RELACION DE LOS MANANTIALES Y POZOS EXISTENTES (continuación)

NorControl

## ALMOGUERA

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
27	33 Julio-86 / 2 2 ITGE Mondejar	Barra Valdelejos	Pozo				Agricultura				
28	34 Julio-86	Valdenaharro	Manantial				Agricultura				
29	35 Julio-86	Montecillo	Manantial				Agr-Abrev				
30	Estudio Analítico Radiológico-92	10 Km. NE pueblo	Manantial de Fuertenovilla	17 l/s			Abastecimiento	Pueblo			
31	Estudio Analítico Radiológico-92	4 Km. E pueblo	Captación río Tajo	14 l/s			Abastecimiento	Pueblo	12 veces/día		
32	Estudio Analítico Radiológico-92	3.5 Km. Pueblo	Captación río Tajo	1360 l/s			Agricultura	Pueblo	Verano		
33	Estudio Analítico Radiológico-92	3.5 Km. Pueblo	Captación río Tajo	14 l/s			Agricultura	Hincas Carrascosilla, Vega del Marquerano			
	Estudio Analítico Radiológico-92	A lo largo de todo el río	Captación río Tajo	9285 l/día			Ganadería	Particular			
34	Estudio Analítico Radiológico-92	Granja San Lorenzo	Pozo	10.25 l/s			Industrial	Particular	continúa		
35	Estudio Analítico Radiológico-92	Granja Hermanos Valero	Pozo	10.12 l/s			Industrial	Particular	continúa		
36	Estudio Analítico Radiológico-92	Granja de Pedro Sanchez	Pozo	10.10 l/s			Industrial	Particular	continúa		

## MAZUECOS

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
37	Estudio Analítico Radiológico-92	2.5 Km. ESE Pueblo	Captación río Tajo	2 l/s			Abastecimiento	Pueblo	Continúa		
38	Estudio Analítico Radiológico-92	2.5 Km. ESE Pueblo	Captación río Tajo	150 l/s			Agricultura	Pueblo	Verano		
39	Estudio Analítico Radiológico-92	2.5 Km. ESE Pueblo	Captación río Tajo	30 l/s			Agricultura	Particular	Verano		
	Estudio Analítico Radiológico-92	A lo largo de todo el río	Captación río Tajo	9770 l/día			Ganadería	Particular	Continúa		

## DRIEBES

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
40	Estudio Analítico Radiológico-92	4 Km. SE Pueblo	Captación río Tajo	1 l/s			Abastecimiento	Pueblo	Continúa		
41	Estudio Analítico Radiológico-92	4 Km. SE Pueblo	Captación río Tajo	157 l/s			Agricultura	Pueblo-Vega Aloaga - G. Sindical n°	Verano		
42	Estudio Analítico Radiológico-92	4 Km. SE Pueblo	Captación río Tajo	91 l/s			Agricultura	Pueblo - Vega Peñaiva-G. Sindical n°	Verano		
	Estudio Analítico Radiológico-92	A lo largo de todo el río	Captación río Tajo	8240 l/día			Ganadería	Particular	Continúa		

## LEGANIEL

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
43	Estudio Analítico Radiológico-92	6 Km. NO Pueblo	Captación río Tajo	1.5 l/s			Abastecimiento	Pueblo	Continúa		
44	Estudio Analítico Radiológico-92	6 Km. NO Pueblo	Captación río Tajo	150 l/s			Agricultura	Pueblo- Grupo Sindical n° 154	Verano		
45	Estudio Analítico Radiológico-92	6 Km. NO Pueblo	Captación río Tajo	23 l/s			Agricultura	Pueblo- Grupo Sindical n° 14127	Verano		
46	Estudio Analítico Radiológico-92	Finca "Casa de Cañizares"	Pozo	6 l/s			Agricultura	Particular	Verano		
	Estudio Analítico Radiológico-92	A lo largo de todo el río	Captación río Tajo	3744 l/día			Ganadería	Particular	Continúa		

## ESTREMERÁ

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
47	Estudio Analítico Radiológico-92	3.5 Km. E Pueblo	Captación río Tajo	8 l/s			Abastecimiento	Pueblo	Continúa		
48	Estudio Analítico Radiológico-92	3.5 Km. E Pueblo	Captación río Tajo	400 l/s			Agricultura	Pueblo	Verano		
49	Estudio Analítico Radiológico-92	Finca "Casa San Pedro"	Captación río Tajo	30 l/s			Agricultura	Particular	Verano		
50	Estudio Analítico Radiológico-92	Finca "Barca y Ballestar"	Captación río Tajo	105 l/s			Agricultura	Particular	Verano		
51	Estudio Analítico Radiológico-92	Finca "Los Arenales"	Captación río Tajo	47 l/s			Agricultura	Particular	Verano		
	Estudio Analítico Radiológico-92	A lo largo de todo el río	Captación río Tajo	15760 l/día			Ganadería	Particular	Continúa		

## BREA DE TAJO

NC	REFERENCIA	PARAJE	TIPO	CAUDAL	LITOLOGIA	EDAD	USO	BENEFICIARIO	FRECUENCIA	ANALISIS	OBSERVACIONES
52	Estudio Analítico Radiológico-92	10 Km. SO Fábrica Whisky	Captación río Tajo	7 l/s			Industrial	Fábrica de Whisky Doble W	2 veces/día		

---

## 6 SONDEOS: TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA

---

Como continuación de los trabajos de campo necesarios para obtener una información completa sobre el medio físico en el que se emplaza la C.N. José Cabrera, se diseñó una campaña de sondeos, prospección geofísica, toma de muestras, realización de ensayos de permeabilidad e instalación de piezómetros abiertos cubriendo las necesidades del estudio.

Con ello se concretaron y confirmaron las características geológicas (litología, textura, estructura,...) de los materiales que conforman el sustrato. Se tomaron muestras y se realizaron ensayos necesarios para obtener información relativa a la continuidad, variaciones composicionales y/o texturas en profundidad, permeabilidad y transmisividad de los materiales y todas las propiedades que afectan al comportamiento hidrogeológico del suelo y al posible flujo de contaminantes.

### 6.1. CONSTRUCCIÓN.

En la primera campaña de sondeos, se realizaron un total de 21, todos ellos testificados mediante diagráfias e instrumentados como piezómetros. La empresa encargada de su construcción fue Ibérica de Sondeos (Figura. 6.1-1).

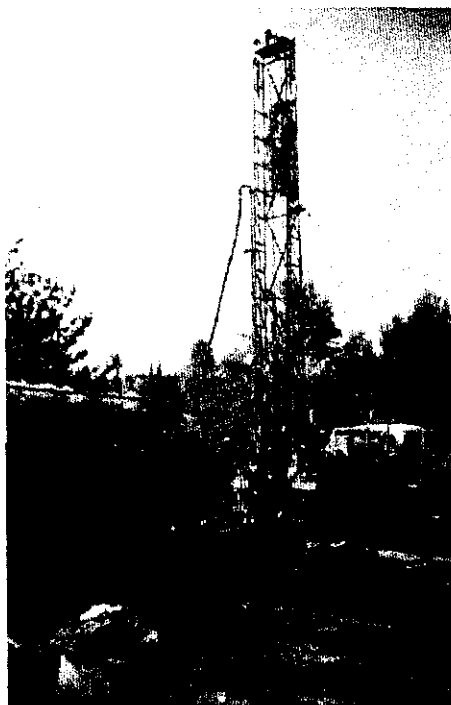


Figura 6.1-1. Equipo de perforación.

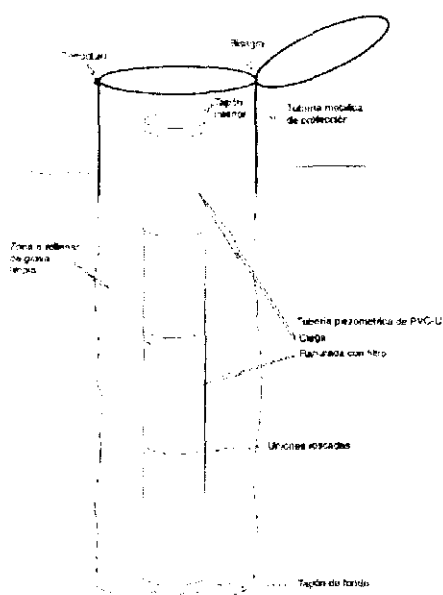
Durante la perforación del sondeo PT1 se identificaron dos aportes de agua diferenciados en el Terciario. Para comprobar si se trataba de dos niveles acuíferos distintos se instalaron dos piezómetros abiertos independientes, uno en cada nivel. Por ello se dispone de 22 piezómetros de control de las aguas subterráneas en el entorno, aunque los aportes de agua en ese pozo PT1 resultasen similares.

Para la instalación piezométrica de todos los sondeos se utilizó tubería piezométrica ranurada y ciega de PVC-U con uniones roscadas y diámetros variables en función de las necesidades de cada perforación: 50, 80 y 120 mm (Figura 6.1-2).



**Figura 6.1-2. Tubería piezométrica.**

Entre las paredes del sondeo y la tubería se colocó una capa de grava silicea seleccionada para que actúe de filtro natural evitando que los finos interfieran en el funcionamiento de los piezómetros (figura 6.1-3).



**Figura 6.1-3. Esquema de construcción de los pozos.**

Los sondeos realizados quedan reflejados en la figura 6.1-4 y pueden diferenciarse en función de su emplazamiento, del siguiente modo:

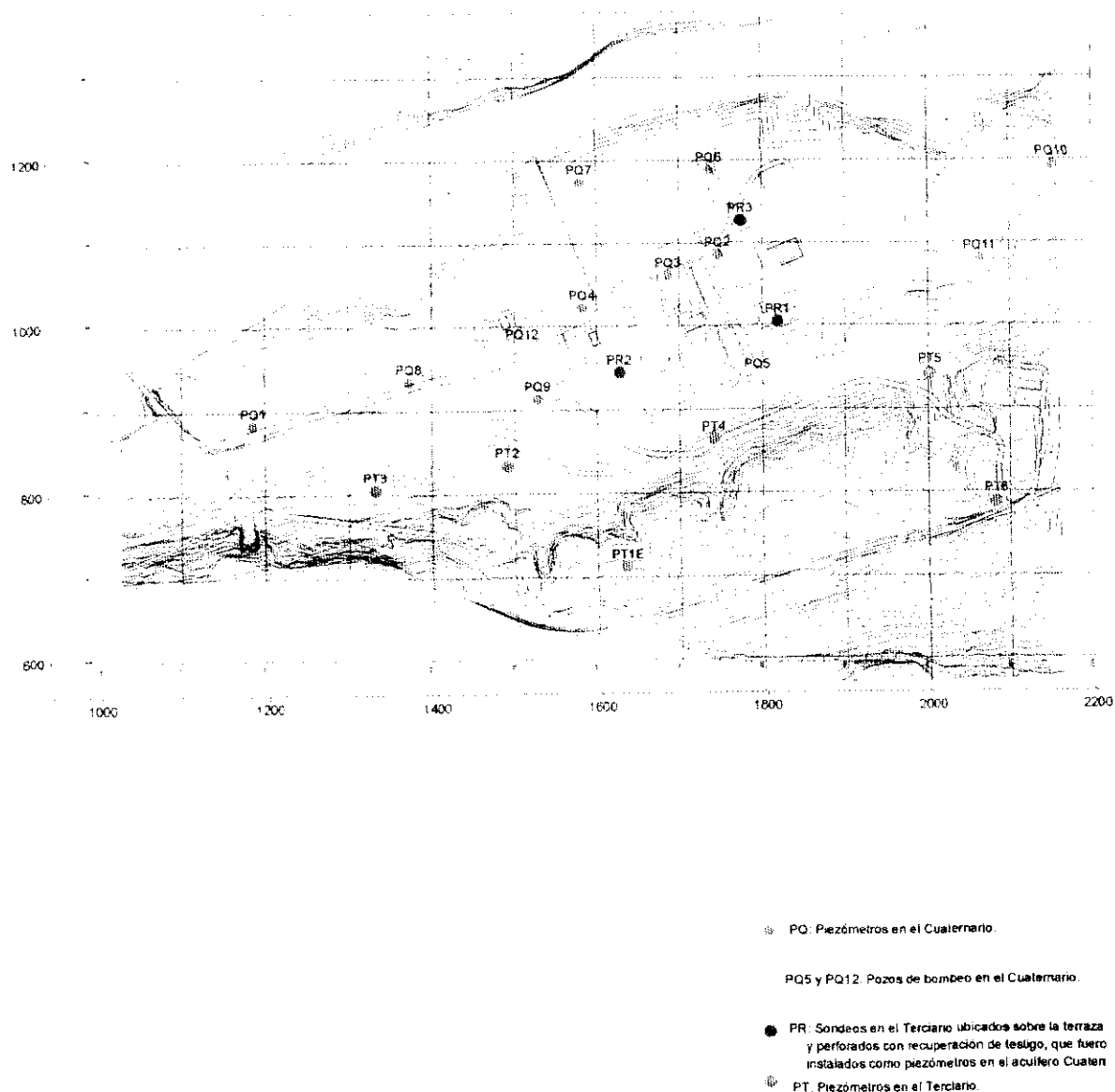


Figura 6.1-4. Localización de los sondeos realizados en la C.N. José Cabrera.

▫ **Sondeos emplazados sobre la terraza aluvial (Cuaternario):**

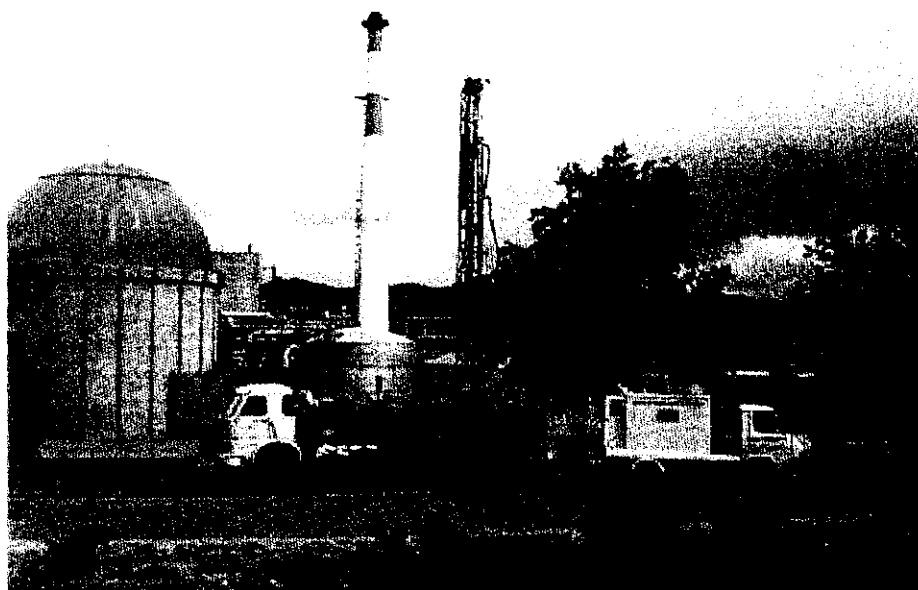
- 10 sondeos (PQ-) perforados con tricono de 120 mm. de diámetro. Todos ellos alcanzan una profundidad de 10 m y se instrumentan con tubería piezométrica PVC-U de 80 mm, excepto el sondeo PQ-11 que alcanzó una profundidad de 13 m, y se instaló una tubería de 50 mm de diámetro.
- 2 sondeos (PQ-5 y PQ-12) perforados con tricono de 216 mm y hasta los 10 m de profundidad. Se instrumentaron con tubería PVC-U de 175 mm, acondicionándose para su utilización como pozos de bombeo.
- 3 sondeos perforados con recuperación continua de testigo (PR-), un diámetro de 101 mm y profundidades de 48,51 y 70 m, respectivamente. En ellos se realizaron ensayos de permeabilidad tipo slugy pulso para la obtención de información de los parámetros hidrogeológicos de los materiales atravesados.

▫ **Sondeos emplazados en el borde de la terraza aluvial.**

Se realizaron 6 sondeos perforados a destroza de 120 mm, de diámetro hasta profundidades que oscilan entre 19,5 m en el sondeo PT-3 y 60 m, en el sondeo PT-1, resultando un total de 193,5 m sondeados. Todos aquellos se instrumentaron con tubería PVC-U de 50 mm con empaque de grava silícea seleccionada y sellos de bentonita.

## 6.2. TESTIFICACIÓN.

Una vez realizado cada sondeo y antes de su acondicionamiento (entubado y limpieza) se realizó una testificación geofísica de cada pozo a fin de detectar y situar niveles y cambios litológicos, presencia de agua o cualquier cambio en las propiedades de los materiales atravesados que pudiesen afectar a su comportamiento hidrogeológico. Estas diagrfias se utilizaron para realizar la testificación geológica de los sondeos perforados a destroza. (figura 6.2-1).



**Figura 6.2-1. Testificación geofísica del PR2.**

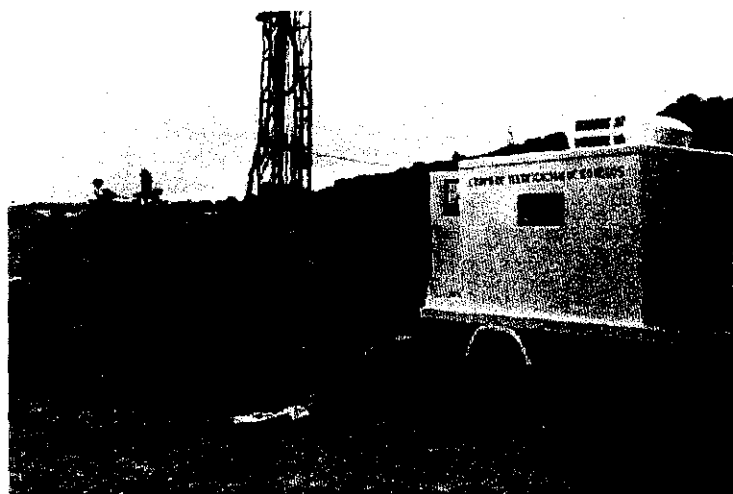
La testificación geofísica (diagráfias) fue realizada por las Universidades de Oviedo y Murcia, utilizando sondas: eléctricas, de densidad, neutrónica y sónica.

Las sondas eléctricas aportan información relativa al grado de alteración de la roca y su contenido en agua, así como los posibles cambios que se produzcan en el agua debido a la temperatura o a la composición química.

La sonda de densidad se utiliza para la identificación litológica y los posibles cambios en los materiales atravesados, también para obtener información de densidad e indirectamente de porosidad. Sirve además como patrón (gamma natural) para todos los demás registros y sondas.

La sonda de neutrón permite estimar la porosidad de los materiales atravesados ofreciendo de manera directa información sobre permeabilidad.

La sonda sónica facilita ciertas diferenciaciones litológicas y valoraciones del grado de compactación de sedimentos, así como la correlación de niveles, pero especialmente se utiliza para la localización de fracturas o porosidades debidas a la fracturación (Véase figura 6.2-2).



**Figura 6.2-2. Equipo de testificación de sondeos.**

El resumen con las características técnicas de cada piezómetro se recoge en la siguiente tabla 6.2-1, en la que se define de cada sondeo que tipo de material atraviesa, los metros alcanzados, el sistema de perforación utilizado, la testificación geofísica realizada y la instrumentación final.

En el Anexo 6.2. se refleja para cada sondeo, su litología y variación de su actividad gamma natural VS profundidad. Así mismo se incluye para algunos sondeos, los resultados de la testificación geofísica.

## 6.2.-I. RESUMEN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PIEZOMETROS

Piezómetro	Emplazamiento	Sistema Perforacion	Profundidad	Testificación Geofísica	Instrumentación	Ensayo Hidrogeológico
PQ-1	Cuaternario	Tricono	10,5 m	$\gamma$ natural y densidad	Tubería PVC-U 80mm	Ensayo bombeo
PQ-2	Cuaternario	Tricono	10 m	$\gamma$ natural y densidad y electr.	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-4	Cuaternario	Tricono	10 m	$\gamma$ natural	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-5	Cuaternario	Tricono	10 m	$\gamma$ natural	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-6	Cuaternario	Tricono	10 m	$\gamma$ natural y densidad t electr.	Tubería PVC-U 175mm	
PQ-7	Cuaternario	Tricono	10 m	eléctrica 9041	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-8	Cuaternario	Tricono	10 m	eléctrica 9041	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-9	Cuaternario	Tricono	10 m	eléctrica 9041	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-10	Cuaternario	Tricono	10 m	eléctrica 9041	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-11	Cuaternario	Tricono	13 m	eléctrica 9041	Tubería PVC-U 80mm	
PQ-12	Cuaternario	Tricono	10 m	eléctrica 9041	Tubería PVC-U 50mm	
PT-1	Terciario	Tricono	60 m	eléctrica 9041	Tubería PVC-U 175mm	Ensayo bombeo
PT-1	Terciario	Tricono	32 m	$\gamma$ natural y densidad t electr.	Tubería PVC-U 50mm	
PT-3	Terciario	Tricono	19,5 m	eléctrica y sónica	Tubería PVC-U 50mm	
PT-4	Terciario	Tricono	30 m	---	Tubería PVC-U 50mm	
PT-5	Terciario	Tricono	30 m	eléctrica y sónica	Tubería PVC-U 50mm	
PT-6	Terciario	Tricono	22 m	eléctrica y sónica	Tubería PVC-U 50mm	
PR-1	Cuaternario	Recuperac. continua	70 m	eléctrica y sónica	Tubería PVC-U 50mm	SLUG TEST/PULSE
PR-2	Cuaternario	Recuperac. Continua	51 m	eléctrica y sónica	Tubería PVC-U 80mm	
PR-3	Cuaternario	Recuperac. continua	48 m	eléctrica y sónica y neutrón eléctrica y sónica y neutrón	Tubería PVC-U 80mm Tubería PVC-U 80mm	

TOTAL 21 SONDEOS

Total 486 m



### 6.3. POZOS DEL PALEOCAUCE.

Tal como se decía en el apdo. 2.2 de este capítulo, se situó un paleocauce en el borde S de la terraza, con una dirección subparalela a la ladera terciaria, sobre el cual se realizaron en una posterior campaña de sondeos, dos nuevos pozos denominados PP-1 y PP-2.

#### 6.3.1. POZO PP-1.

Se alinea entre el PO9 y PT2, en la zona donde se ubica el perfil 4.

Se trata de un pozo que permite el control piezométrico y el bombeo de agua, utilizando para su construcción tubería de filtro de PVC VIPLEX 200x6 mm, ofreciendo unas características técnicas para la no interferencia en los análisis físico-químicos de las aguas a muestrear, realizándose las uniones de los tramos de las tuberías mediante roscado de las mismas.

La tubería instalada tiene en su parte inferior un tapón ciego y está debidamente enfundada en un filtro de malla, para impedir así la entrada de finos.

Finalmente se ha dejado una porción de tubería sobresaliendo de la superficie del terreno, guareciéndose esta bajo un cerramiento de protección debidamente cerrado y accesible por la incorporación de una cerradura con candado (figura 6.3.1-1).

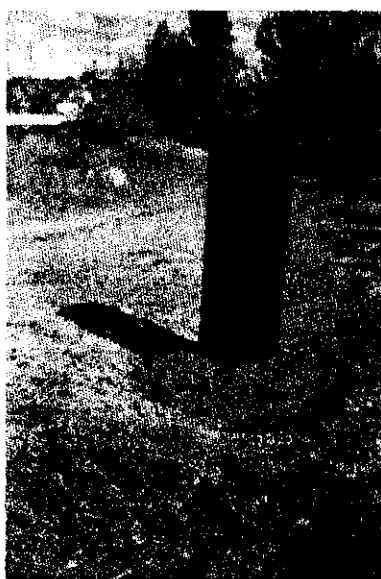


Figura 6.3.1-1. Cerramiento de Protección.

La naturaleza de los materiales perforados fue la siguiente:

- 0 metros - 3,2 metros => niveles areniscosos.  
baja permeabilidad, siendo capaces de contener agua en los niveles alterados más superficiales.
- 3,2 metros - 10 metros => niveles con gravas.  
materiales permeables que constituyen un acuífero confinado.
- 10 metros - 12,1 metros => niveles arcillosos.  
materiales arcillosos impermeables que constituyen una barrera física a la circulación vertical del agua.

#### 6.3.2. POZO PP-2.

Se sitúa aguas arriba de la Central, siguiendo la línea del río en relación con el PQ6 y PQ11.

Las características constructivas son idénticas al anterior. En cuanto a la naturaleza de los materiales perforados, fue la siguiente:

- 0 metros - 7,7 metros => niveles con gravas.  
materiales permeables que constituyen un acuífero confinado.
- 7,7 metros - 9,7 metros => niveles arcillosos.  
materiales arcillosos impermeables que constituyen una barrera física a la circulación vertical del agua.

En la figura 6.3.2-1 se refleja la situación de todos los sondeos realizados, y en el anexo 6.1. se muestra un esquema constructivo de estos últimos pozos.

Las características geométricas de todos los piezómetros instalados, se refleja en la siguiente tabla (6.3.2-1):

Sondeo	Profundidad m	Diámetro mm	Cota Z m	Cota Bisagra m	Cota Fondo m
PQ1	10,5	75	604,218	605,268	593,718
PQ2	8,9	75	605,272	606,222	596,372
PQ3	10	75	604,217	605,217	594,217
PQ4	10	75	604,121	605,061	594,121
PQ5	10	175	604,791	605,881	594,791
PQ6	10	75	604,837	605,847	594,837
PQ7	10	75	603,99	604,99	593,99
PQ8	10	75	605,496	606,616	595,496
PQ9	10	75	606,029	607,079	596,029
PQ10	10	75	605,917	607,097	595,917
PQ11	10	75	606,947	608,047	596,947
PQ12	10	175	605,627	606,747	595,627
PR1	69,7	75	604,831	605,901	535,131
PR2	50,8	75	604,256	605,256	553,456
PR3	47,7	75	605,515	606,395	557,815
PT1	60	50	627,775	628,975	567,775
PT2	32	50	612,382	613,682	580,382
PT3	19,5	50	609,417	610,457	589,917
PT4	30	50	611,72	612,97	581,72
PT5	30	50	613,03	614,31	583,03
PT6	22	50	630,843	631,763	608,843
PP1	10	200	606,246	607,256	596,246
PP2	7,7	200	606,57	607,37	598,87



Figura 6.3.2-1. Ubicación de los sondeos.

---

## 7 ENSAYOS DE BOMBEO

---

Formando parte de la campaña de trabajos de campo para el estudio hidrogeológico de la Central Nuclear José Cabrera, se han efectuado 2 ensayos de bombeo de caudal constante durante los días 17 al 28 de junio de 1996.

Los ensayos se realizaron en los pozos diseñados para tal fin, como son el PQ5 y PQ12.

### 7.1. EQUIPO EMPLEADO

Para la realización de los ensayos se ha empleado una bomba sumergible de 4" monofásica Caprari 4RTF/7.

El caudal se reguló mediante el empleo de una llave de paso situada en la salida de la tubería de impulsión empleándose 2 métodos de aforo: un caudalímetro y un recipiente calibrado.

El registro de los niveles se efectuó mediante 2 sondas hidronivel con cable plano de dos conductores, graduado en centímetros.

### 7.2. METODOLOGÍA.

Los ensayos de bombeo a caudal constante permite obtener los parámetros característicos del acuífero a partir de los registros de descensos de los niveles piezométricos producidos durante un bombeo continuo a un caudal fijo.

Las medidas de los pozos y piezómetros permite obtener la transmisividad y permeabilidad, mientras que el coeficiente de almacenamiento se calcula con la combinación de los registros en el pozo y al menos uno de los piezómetros. Para el cálculo de T se utilizó el método de Jacob para acuíferos libres, aplicándose el factor corrector de Dupuit.

Una vez terminada la prueba de bombeo se registra el ascenso de los niveles hasta alcanzar el nivel estático inicial.

Todas las medidas se efectúan siguiendo una cadencia en el tiempo tal que puedan repartirse de forma uniforme en una escala logarítmica.

### 7.3. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS.

#### 7.3.1. PRUEBA DE POZOS PQ5.

Se iniciaron los bombeos en el pozo PQ5. Como paso previo para poder ajustar los caudales se realizaron tanteos durante 24 horas. Al término de dichos tanteos, que fueron acompañados de registros de los niveles tanto en el pozo como en los piezómetros próximos, se inició el bombeo a un caudal de 0,15 - 0,210 l/seg. La prueba se prolongó durante 38 horas hasta que el nivel descendió por debajo de la base del acuífero, situado en las gravas y

arenas cuaternarias, produciéndose un brusco descenso de los niveles hasta rebasar la aspiración de la bomba.

A continuación, se registró de nuevo la recuperación de los niveles en el pozo, no apreciándose ningún efecto sobre los piezómetros ni durante la prueba de bombeo ni al término de esta.

### 7.3.2. PRUEBA DEL POZO PQ12.

Se efectuaron tanteos durante 12 horas. Tras la recuperación de los niveles se inició la prueba de bombeo con un caudal de 0,14 l/seg, prologándose durante 7 horas hasta alcanzar la estabilización aparente del nivel.

Se realizaron nuevas pruebas con distintos caudales apreciándose que un pequeño incremento de los mismos producía un rápido descenso por debajo del nivel de base del acuífero.

Como en el anterior ensayo no se observaron en ningún momento efectos sobre los piezómetros de control dispuestos en torno al pozo de bombeo.

### 7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para la interpretación de los perfiles de los descensos y recuperación que se obtuvieron en los pozos de bombeo, se empleó el citado método de Jacob corrigiendo los valores mediante el factor de Dupuit.

Los resultados obtenidos en descensos y recuperaciones, así como las gráficas semilogarítmicas obtenidas se recogen en el anexo 7.1.

### 7.5. PARÁMETROS OBTENIDOS.

Los resultados obtenidos en los 2 ensayos de bombeos realizados, arrojan los siguientes valores de Transmisividad y Permeabilidad:

Pozo PQ5	$T = 17,7 \text{ m}^2/\text{día}$	$K = 7,5 \text{ m/día}$
Pozo PQ12	$T = 22,2 \text{ m}^2/\text{día}$	$K = 14,8 \text{ m/día}$

Por tanto, los rangos dentro de los que se situarían los parámetros hidrogeológicos obtenidos para los materiales Cuaternarios son los siguientes:

$T = 15\text{-}25 \text{ m}^2/\text{día}$  que correspondería a una transmisividad baja.

$K = 7\text{-}15 \text{ m/día}$  que corresponde a una permeabilidad media.

---

## 8 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN EL TERCIARIO

---

Con el objetivo de obtener los parámetros hidrogeológicos característicos de los materiales de baja permeabilidad que constituyen el Terciario sobre el que se apoya la terraza aluvial en la zona de estudio, se han realizado ensayos de baja permeabilidad tipo slug y pulso en los 3 sondeos perforados a rotación con recuperación continua de testigo, a fin de seleccionar los tramos más adecuados para la realización de las pruebas.

Estos ensayos fueron realizados por la Dirección de Aguas Subterráneas y Geotécnia del Instituto Tecnológico Geominero de España.

Se ensayaron tramos completos del Terciario para establecer el comportamiento del conjunto del material, dada la escasa importancia tanto cuantitativa como cualitativa de las "individualidades" que suponen los canales areniscosos en estos materiales.

### 8.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SONDEOS ENSAYADOS.

- **SONDEO PR1.**

Profundidad del sondeo: 70 m.

Diámetro de perforación: 101 m.

Sección ensayada: 20 - 70 m.

Profundidad del nivel piezométrico: Surgente + 28,59 m respecto boca de sondeo.

- **SONDEO PR2.**

Profundidad del sondeo: 49,12 m.

Diámetro de perforación: 101 m.

Sección ensayada: 23,7 - 49,10 m.

Profundidad del nivel piezométrico: Surgente + 1,23 m respecto boca de sondeo.

- **SONDEO PR3.**

Profundidad del sondeo: 47,7 m.

Diámetro de perforación: 101 m.

Sección ensayada: 11 - 47,70 m.

Profundidad del nivel piezométrico: Surgente + 0,80 m respecto boca de sondeo.

## 8.2. EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN EMPLEADOS.

El equipo básico empleado para la realización de los ensayos ha sido el siguiente:

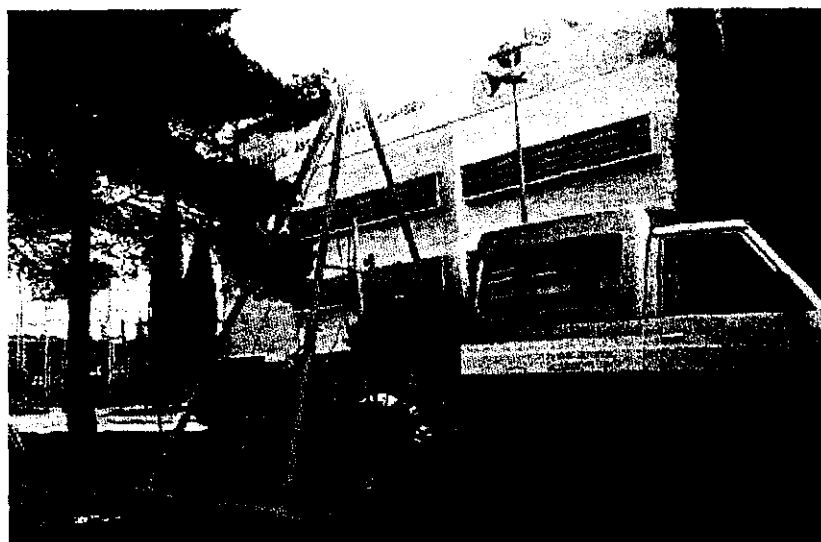
- Cabrestante y trípode.
- Varillas de 1,5 m de longitud y diámetro de 50/40 mm en aluminio, con manguitos de acero inoxidable.
- Obturadores tipo 1R72L100C con elemento inflable de 1 m de longitud. Disponen de un extremo fijo y otro deslizante. Su diámetro es de 72 mm y puede inflar hasta 160 mm.
- Obturador tipo 1R30L500 con elemento inflable de 0,5 m de longitud. Su diámetro es 30 mm y puede inflar hasta 53 mm.
- Bombonas de nitrógeno y manómetro para inflado de obturadores.
- Líneas de inflado de 6/4 mm.
- Transmisor de presión modelo PTX/162.
- Cable de señales de siete conductores.
- Software de adquisición e interpretación de datos.
- Caja de expansión, panel terminal y ordenador portátil para adquisición e interpretación de datos.
- Material complementario.

## 8.3. METODOLOGIA.

Los ensayos realizados consisten básicamente en producir un cambio instantáneo en el nivel piezométrico de un sondeo o de una sección aislada mediante obturadores de éste, y registrar la posterior estabilización del nivel a presión



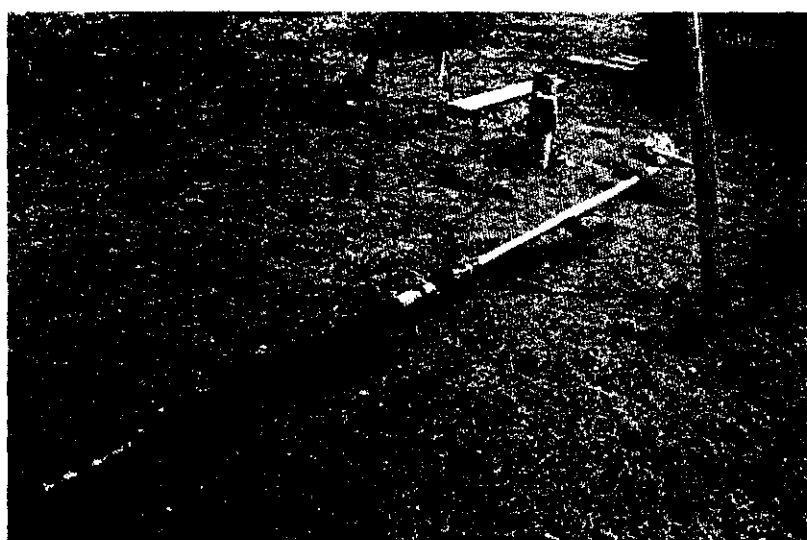
atmosférica (en el caso del ensayo de tipo Slug) y en condiciones de confinamiento en el caso del tipo Pulse. (Véase figura 8.3-1).



**Figura 8.3-1. Realización de ensayo tipo pulso en el sondeo PR2.**

Teóricamente es equivalente a la inyección o extracción de un volumen determinado de agua de forma instantánea. Mediante la comparación de los descensos observados con curvas patrón, se estiman los parámetros de la formación (Permeabilidad y Coeficiente de almacenamiento).

El procedimiento consiste en descender mediante varillaje el obturador (Figura 8.3-2).



**Figura 8.3-2. Detalle del varillaje utilizado para los ensayos de baja permeabilidad.**

Cuando el obturador ha alcanzado la profundidad deseada se infla para aislar el tramo a ensayar (del obturador al fondo del sondeo). Posteriormente, se espera hasta conseguir la estabilización del nivel y a continuación se produce la inyección/extracción.

Existen diferentes métodos para provocar esta variación. El método empleado por el I.T.G.E. en los ensayos en sobrepresión, ha consistido, una vez estabilizado el nivel, en el sellado del varillaje que comunica la superficie con la sección a ensayar, mediante un mini-obturador situado a la altura de la profundidad del nivel piezométrico. Posteriormente se rellena de agua el varillaje, y se desinfla el mini-obturador, con lo que se crea una sobrecarga y se registran los diferentes niveles durante la estabilización.

En los ensayos en depresión efectuados en los sondeos surgentes se ha procedido a taponar el extremo del varillaje que comunica con la sección del ensayo conectando el agua de su interior, mediante una pieza de acoplamiento, a un sensor. Se registra a continuación la evolución de niveles hasta que éstos se estabilizan y se realiza entonces la interpretación de forma análoga al caso anterior.

### 8.3.1. INTERPRETACIÓN.

Para la interpretación de los ensayos Pulse y Slug realizados se ha utilizado el modelo de Cooper (1967). El método proporciona el valor de la transmisividad  $T$  y del coeficiente de almacenamiento  $S$ , aunque este último valor es más indicativo que fiable. Las curvas de campo obtenidas se interpretan de acuerdo con la teoría de flujo radial transitorio en un medio poroso. En el caso de un Slug test el nivel de agua en el sondeo se desplaza a una altura  $H_0 = V/\Pi r^2$ , por encima o por debajo de su nivel inicial e inmediatamente comienza a retornar al mismo de acuerdo con una función del tiempo  $H(t)$ . Mientras, el nivel en el acuífero varía conforme a una función  $h(r,t)$ . La solución al problema se describe matemáticamente por:

$$\frac{d^2 h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} = \frac{S}{T} \frac{dh}{dt}$$

$$h(r_2 + 0, t) = H(t)$$

$$h(\infty, t) = 0$$

$$\frac{2\pi r_2 T (dh(r_2 + 0, t))}{dt} = \pi r^2 \frac{dH(t)}{dt}$$

En el caso de los pulse test la sección de ensayo no está en contacto con la atmósfera durante la realización del test. Generalmente es suficiente con una recuperación del 50% de la presión inicial o como máximo un 80% para analizar el test.

Una vez aislada la sección del ensayo se monitoriza la recuperación de presión tras el pulso en función del tiempo. Así, en este caso, la recuperación del pulso se encuentra dominada por el coeficiente de almacenamiento de la sección confinada, que es varios órdenes de magnitud menor que el coeficiente de almacenamiento en el sondeo en contacto con la atmósfera.

Por lo tanto, el tiempo requerido para la realización de Pulse tests es mucho menor que el requerido para un Slug test. Es de gran importancia la consecución de un equilibrio aproximado de presión en la sección a ensayar antes de la realización del test con objeto de eliminar las variaciones naturales de presión tendentes a la estabilización. Igualmente es recomendable el uso de la **compresibilidad efectiva** (Neuzil, 1982) en los cálculos en vez de la compresibilidad del agua con objeto de tener en cuenta los efectos de compresibilidad del equipo durante la recuperación de presiones. La solución al problema se describe matemáticamente por:

$$\frac{d^2 h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} = \frac{S}{T} \frac{dh}{dt}$$

$$h(r_g + 0, t) = H(t)$$

$$h(\infty, t) = 0$$

$$\frac{2\pi r_g T (dh(r_g + 0, t))}{dt} = V_w c_w \xi \frac{dH(T)}{dt}$$

#### 8.4. RESULTADOS.

En cada uno de los tres sondeos ensayados se ha elegido una sección en función de la columna litológica, la testificación geofísica y el registro obtenido por el caliper. Cabe indicar a este respecto que aunque la irregularidad del diámetro de los sondeos, reflejado por el caliper, hace imposible el sellado de los obturadores en amplias zonas de los mismos, se han podido seleccionar secciones representativas de cada uno que permiten caracterizar con precisión los diferentes materiales atravesados.

- Sondeo PR1 (Sección 20 m a 70 m de profundidad).
- Sondeo PR2 (Sección 23,7 m a 49,1 m de profundidad).
- Sondeo PR3 (Sección 11 m a 47,7 m de profundidad).

## 8.4.1. SONDEO PR1.

La sección de ensayo se sitúa entre el obturador y el final del sondeo (20-70 m) efectuándose dos ensayos de tipo Pulso.

• Ensayo tipo Pulso (nº 1.1)

La duración del ensayo fue de 650 segundos. El nivel era surgente (+28,59 m) efectuándose el Pulso en depresión. Para ello se supone una depresión instantánea igual a la diferencia de altura existente entre el cierre instalado en el varillaje a la altura del sensor y el nivel que alcanza al estabilizarse que inicialmente es desconocido.

La figura 8.4.1-1 muestra el ajuste obtenido al emplear el método de Cooper et al., que proporciona un valor de la conductividad hidráulica de  $4,43 \cdot 10^{-7}$  m/s y una transmisividad de  $2,21 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s para un espesor de 50 metros.

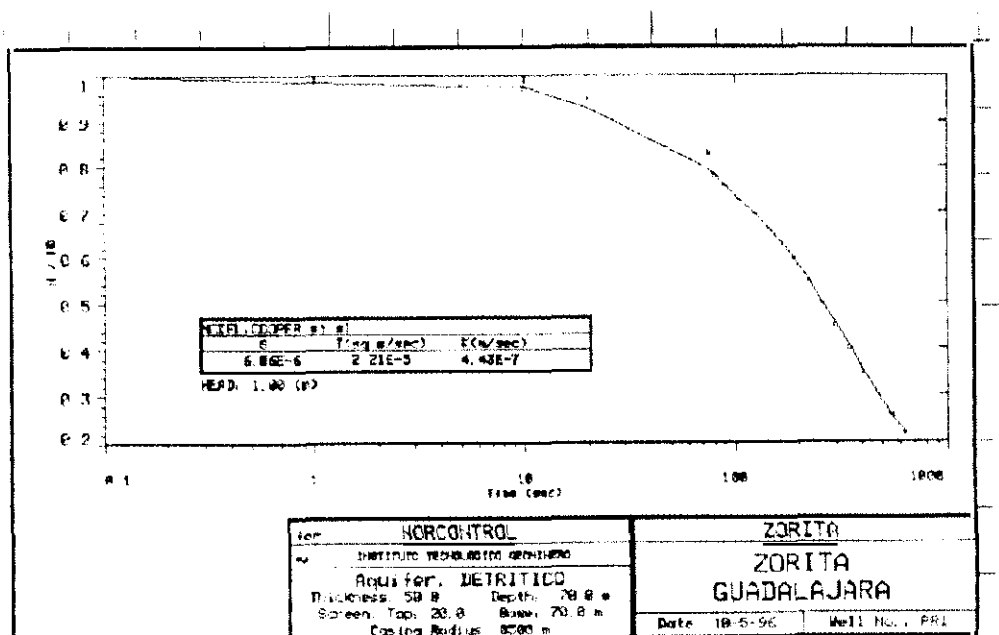


Figura 8.4.1-1. -Sondeo PR1. Ensayo tipo pulso nº 1.1.

Estos valores que presentan un buen ajuste pese a la irregularidad del diámetro del sondeo, son representativos del tramo con mayor contenido en arenas existentes al final del mismo.

Cabe indicar que al perforarse este sondeo y llegar al tramo arenoso, se emplearon bolas de bentonita que podrían afectar en cierta medida al valor de permeabilidad, como podría indicar la turbidez observada durante un cierto tiempo en el agua que salía del varillaje al concluir el ensayo.

#### • Ensayo tipo Pulso (n° 1.2)

La duración del ensayo fue de aproximadamente 8.000 segundos.

Se efectuó con posterioridad al ensayo n° 1.1 con el objeto de confirmar los valores obtenidos en el mismo empleando un procedimiento idéntico al indicado en dicho ensayo.

La figura 8.4.1-2 muestra el ajuste obtenido al emplear el método de Cooper et al, que proporciona un valor de la conductividad hidráulica de  $1,96 \cdot 10^{-7}$  m/s y una transmisividad de  $9,81 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s para un espesor de 50 m.

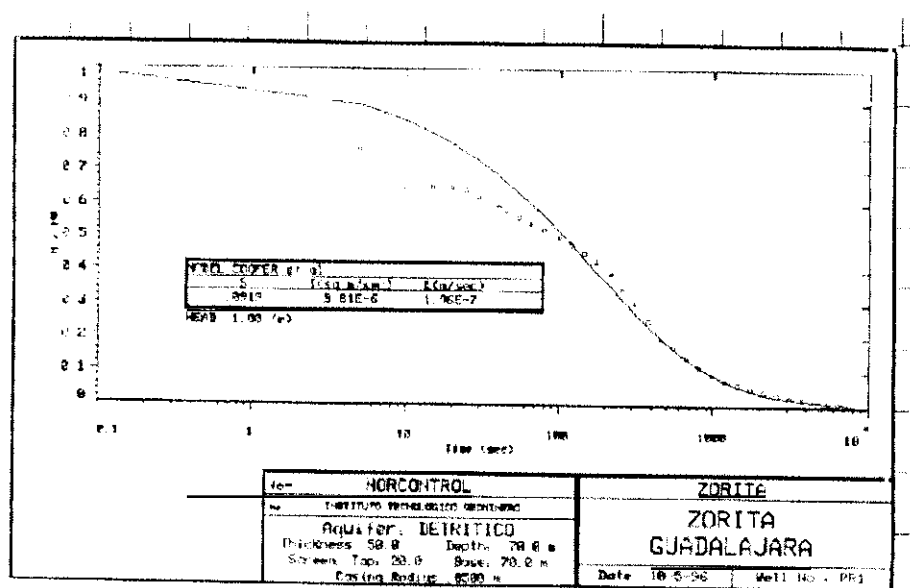


Figura 8.4.1-2. Sondeo PR1. Ensayo tipo Pulso n° 1.2.

Estos valores, que presentan un buen ajuste, coinciden sensiblemente con los obtenidos en el ensayo previo, lo que reafirma que son los parámetros representativos del tramo arenoso existente al final del sondeo, si bien considerando las posibles alteraciones provocadas por los motivos ya indicados en el ensayo 1.1.

#### 8.4.2. SONDEO PR2.

La sección de ensayo se sitúa entre el obturador y el final del sondeo (23,7-49,1 m) efectuándose dos ensayos de tipo Pulso y un ensayo de mayor duración de tipo Slug.

##### • Ensayo tipo Pulso (nº 2.1)

La duración del ensayo fue de 275 segundos.

Se efectuó el Pulso en sobrepresión empleando a tal efecto un minipacker.

La figura 8.4.2-1 muestra el ajuste obtenido al emplear el método de Cooper et al, que proporciona el valor de la conductividad hidráulica de  $3,03 \cdot 10^{-8}$  m/s y una transmisividad de  $7,66 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s para un espesor de 25,2 m.

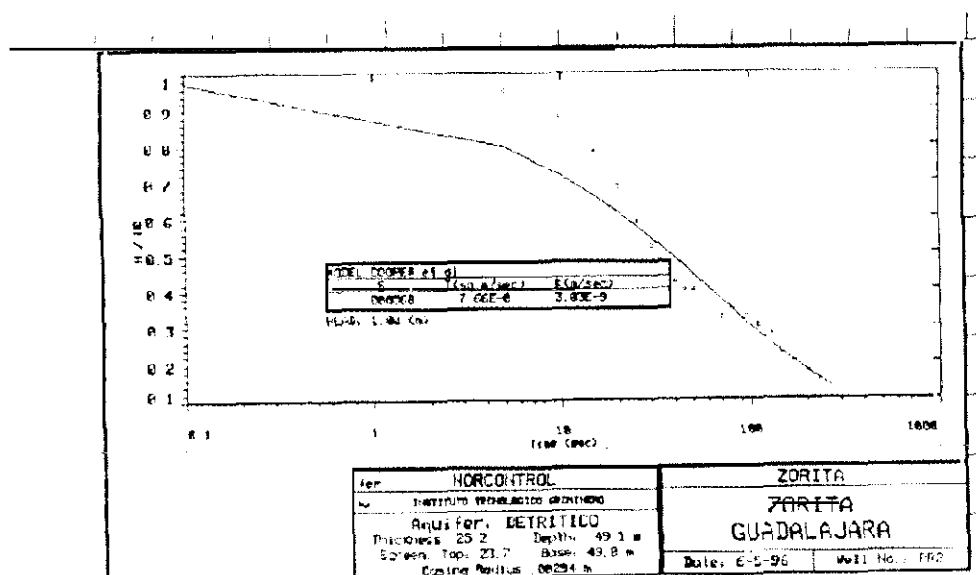


Figura 8.4.2-1. Sondeo PR2. Ensayo tipo Pulso nº 2.1.

Estos valores presentan un buen ajuste pese a la irregularidad en el diámetro del sondeo.

• **Ensayo tipo Pulso (nº 2.2)**

La duración del ensayo fue de aproximadamente de 500 segundos.

Se efectuó con posterioridad al ensayo nº 2.1 con el objeto de confirmar los valores obtenidos en el mismo empleando un procedimiento idéntico al indicado en dicho ensayo.

La figura 8.4.2-2 muestra el ajuste obtenido al emplear el método de Cooper et al, que proporciona el valor de la conductividad hidráulica de  $7,87 \cdot 10^{-10}$  m/s y una transmisividad de  $1,98 \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s para un espesor de 25,2 m.

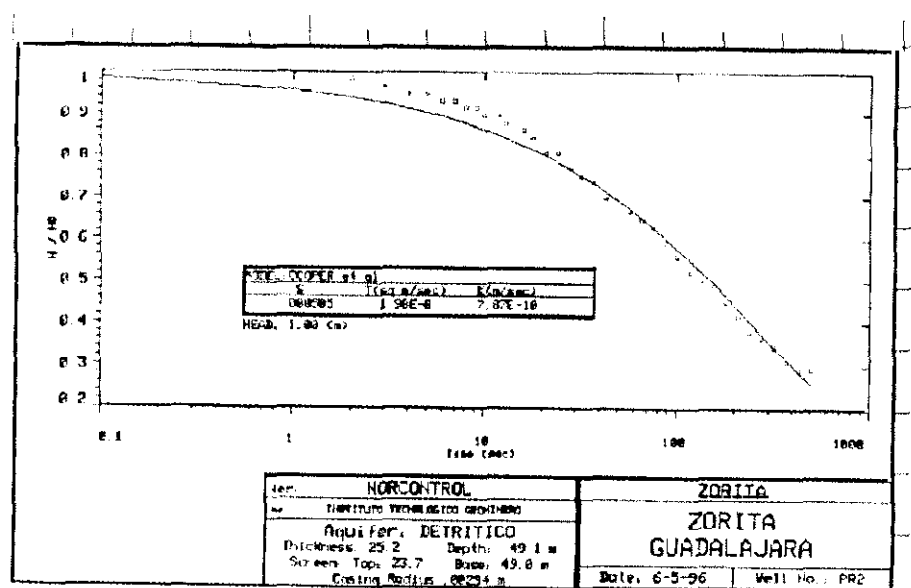


Figura 8.4.2-2. Sondeo PR2. Ensayo Tipo Pulso nº 2.2.

Estos valores presentan un buen ajuste. Existe no obstante una diferencia del orden de magnitud con los resultados obtenidos en el ensayo 2.1 que se puso de manifiesto en la interpretación preliminar de ambos, lo que hizo aconsejable efectuar un ensayo de mayor duración (ensayo 2.4) que proporciona con mayor fiabilidad los valores de conductividad hidráulica y transmisividad de dicho tramo.

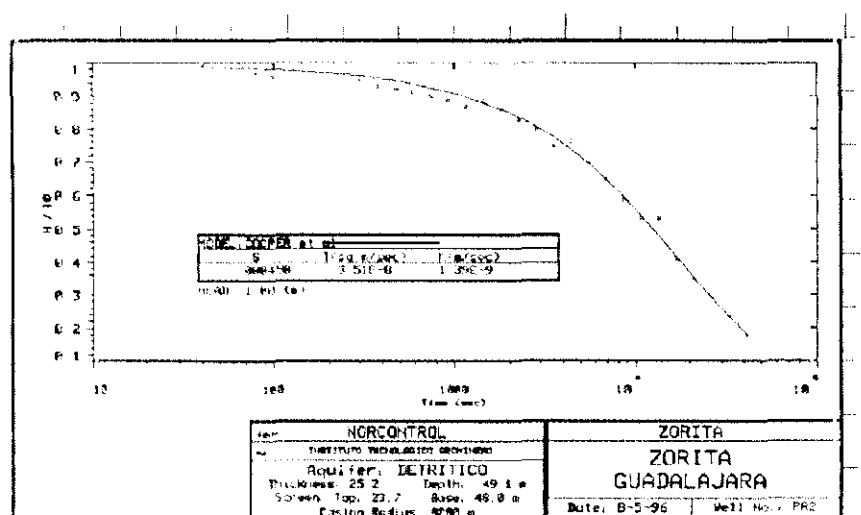
• **Ensayo tipo Slug (n° 2.4)**

El ensayo fue de larga duración, 40.000 segundos, con objeto de definir con precisión los parámetros característicos del tramo atravesado.

El nivel totalmente estabilizado era surgente +1,23 efectuándose un ensayo de tipo Slug en depresión.

Para ello se supone una depresión instantánea de 0,71 m igual a la diferencia de altura existente entre el nivel inicial al empezar el ensayo y el nivel que alcanza al estabilizarse totalmente (tras 40.000 segundos) que era un valor desconocido al comenzar el ensayo.

La figura 8.4.2-3 muestra el ajuste obtenido al emplear el método de Cooper et al, que proporciona el valor de la conductividad hidráulica de  $1,39 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  y una transmisividad de  $3,51 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  para un espesor de 25,2 m.



**Figura 8.4.2-3. Sondeo PR2. Ensayo Tipo Slug n° 2.4.**

Los valores presentan un buen ajuste durante todo el ensayo indicando por tanto con gran precisión que estos valores son fiables. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el ensayo 2.1.



### 8.4.3. SONDEO PR3.

La sección de ensayo se situó entre el obturador y el final del sondeo (11-47,7 m) efectuándose un único ensayo de tipo Pulso.

#### • Ensayo tipo Pulso (nº 3.1)

La duración del ensayo fue de 4.500 segundos. El nivel era de -80,0 m efectuándose un Pulso en sobrepresión. La figura 8.4.3-1 muestra el buen ajuste obtenido al emplear el método de Cooper et al, que proporcionó un valor de conductividad hidráulica de  $2,74 \cdot 10^{-11}$  m/s y una transmisividad de  $1,0 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s para un espesor de 36,7 m.

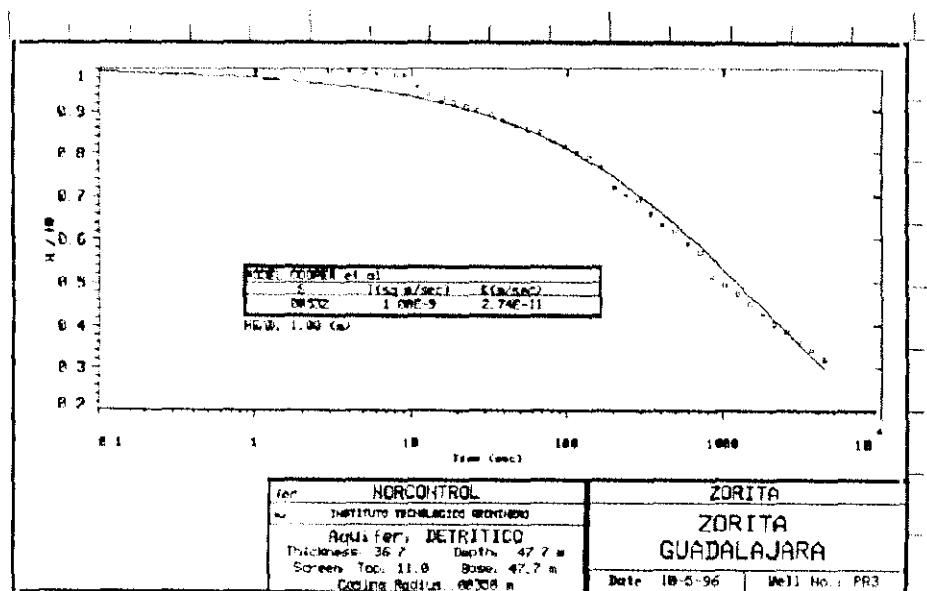


Figura 8.4.3-1. Sondeo PR3. Ensayo Tipo Pulso nº 3.1.

Estos valores, que presentan muy buen ajuste, indican que la permeabilidad en los materiales atravesados es menor a la obtenida en el ensayo del sondeo PR2 debido a la litología existente en el sondeo PR3.

### 8.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS.

En la siguiente tabla se indica un resumen de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos hidráulicos efectuados.

Sondeo	Profundidad Sondeo (m)	Sección Ensayada	Nivel Piezométrico(m)	Ensayo	Conductividad Hidráulica (m/s)	Transmisiv. (m <sup>2</sup> /s)
PR1	70	20-70	+28,59	Pulso nº 1.1	$4,43 \times 10^{-7}$	$2,21 \times 10^{-5}$
PR1	70	20-70	+28,59	Pulso nº 1.2	$1,96 \times 10^{-7}$	$9,81 \times 10^{-6}$
PR2	49,1	23,7 - 49,1	+1,23	Pulso nº 2.1	$3,03 \times 10^{-9}$	$7,66 \times 10^{-8}$
PR2	49,1	23,7 - 49,1	+1,23	Pulso nº 2.2	$7,87 \times 10^{-10}$	$1,98 \times 10^{-8}$
PR2	49,1	23,7 - 49,1	+1,23	Slug nº 2.4	$1,39 \times 10^{-9}$	$3,51 \times 10^{-8}$
PR3	47,7	11 - 47,7	- 0,8	Pulso nº 3.1	$2,74 \times 10^{-11}$	$1,00 \times 10^{-9}$

Se han realizado 6 ensayos en diferentes secciones de los tres sondeos existentes elegidos en función de la descripción litológica y la testificación que permitieran un correcto sellado de los obturadores (diámetro del sondeo de aproximadamente 101 mm).

El comentario resumen para cada sondeo es el siguiente:

#### • SONDEO PR1.

En este sondeo se atravesó una formación (a los 65 m aproximadamente) cuyo nivel piezométrico se encuentra en carga a una cota de +28,59 m respecto a la boca de sondeo. El valor de conductividad hidráulica obtenido es de  $4,43 \cdot 10^{-7}$  m/s y el de la transmisividad de  $2,21 \cdot 10^{-5}$  a  $9,81 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

Estos valores pueden estar en cierta medida influenciados por los tapones de bentonita que se emplearon durante la perforación de este tramo.

Cabe únicamente indicar, como ha sido detallado en la descripción de cada ensayo, que con la información proporcionada por el calibre (Caliper) se decidió realizar un ensayo con un solo packer, puesto que por debajo de 20 m el sondeo se encontraba totalmente descalibrado, y los cambios existentes en el diámetro han limitado en cierta medida, tanto los lugares donde podía realizarse

un correcto sellado de los packers, como suponer un cierto error en los parámetros obtenidos al aumentar el volumen del almacenamiento en el pozo.

La imprecisión que esto supone parece sin embargo perfectamente asumible a juzgar por los buenos ajustes obtenidos.

#### • SONDEO PR2.

El valor de conductividad hidráulica obtenida en el sondeo PR2 es de  $1,39 \cdot 10^{-9}$  m/s, la transmisividad es de  $3,51 \cdot 10^{-8}$  y el nivel piezométrico es de +1,23 m respecto boca de sondeo.

Al igual que en el caso anterior se decidió el dispositivo de ensayo (packer único) a la vista del Caliper, que indicaba la inconveniencia de situar con garantías un dispositivo de ensayo distinto (doble packer) o en otro lugar distinto al seleccionado.

Se realizaron dos ensayos tipo Slug en primer lugar. Al realizar la interpretación los valores presentan un buen ajuste. Existe no obstante, una diferencia de un orden de magnitud entre los resultados proporcionados por ambos ensayos, por lo que se realizó un ensayo de mayor duración (ensayo 2.4, tipo Slug) que proporciona con mayor fiabilidad los valores de conductividad hidráulica y transmisividad de dicho tramo.

#### • SONDEO PR3.

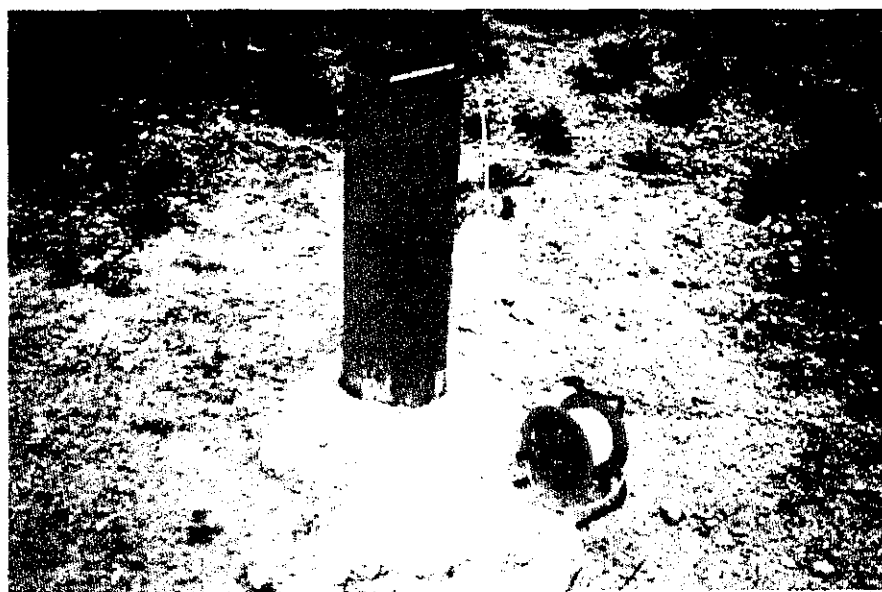
En este sondeo PR3 el valor de la conductividad hidráulica es de  $2,74 \cdot 10^{-11}$  m/s y la transmisividad es de  $1,00 \cdot 10^{-9}$  y el nivel piezométrico es de -0,80 m respecto boca de sondeo.

## 9 SEGUIMIENTO PIEZOMÉTRICO

A fin de conocer la evolución de los niveles piezométricos en el área de la Central y disponer de la información suficiente por el establecimiento de flujo, gradientes, variaciones estacionales de niveles, valoración de las respuestas del acuífero, así como para concretar las características de la circulación del agua en la zona, se realizó una campaña de seguimiento piezométrico.

Esta campaña de control piezométrico comenzó el 3 de Agosto de 1996 y con una periodicidad quincenal se prolongó hasta el 28 de julio de 1997.

Las cotas de nivel de agua en los piezómetros durante este período, se reflejan en la Tabla 9-I. La metodología de medida de los niveles, se refleja en el Procedimiento de Toma de Muestras del Anexo 11.



### Hidronivel portátil

Por otra parte, en la Tabla 9-II se indican unos valores estadísticos de los resultados obtenidos. En concreto son, para cada piezómetro, su cota media, cota máxima, fecha cota máxima, cota mínima, fecha cota mínima y validación entre cotas.

Todos los niveles medidos se encuentran introducidos en el GIS.

La cota media de agua en la zona de la terraza aluvial ronda los 600 m, con unas variaciones medias de 60 cm según la época del año, mínima en el pozo PQ6 (26 cm) muy próximo al río y máxima en la alineación de sondeos PQ7-PQ2-PR1 y PT-5, con variaciones aproximadas de 1 metro.

TABLA 9-I. COTAS DEL NIVEL DEL AGUA EN LOS PIEZÓMETROS

POZO	Z 3/08/96	Z 17/08/96	Z 31/08/96	Z 14/09/96	Z 28/09/96	Z 12/10/96	Z 26/10/96	Z 9/11/96	Z 23/11/96	Z 7/12/96	Z 21/12/96	Z 4/01/97	Z 18/01/97
PQ1	600,704	600,708	600,683	600,692	600,617	600,629	600,618	600,626	600,639	600,707	600,67	600,65	600,687
PQ10	600,374	600,357	600,364	600,353	600,337	600,302	600,304	600,321	600,341	600,351	600,342	600,346	600,39
PQ11	600,418	600,402	600,401	600,397	600,476	600,257	600,345	600,367	600,379	600,343	600,383	600,39	600,433
PQ12	600,305	600,265	600,237	600,218	600,177	600,171	600,171	600,165	600,213	600,217	600,245	600,247	600,286
PQ2	600,274	600,261	600,266	600,248	600,226	600,222	600,201	600,205	600,252	600,23	600,275	600,27	600,306
PQ3	600,272	600,233	600,237	600,211	600,185	600,167	600,145	600,147	600,161	600,169	600,207	600,196	600,219
PQ4	600,157	600,135	600,121	600,098	600,071	600,071	600,061	600,079	600,118	600,084	600,118	600,104	600,152
PQ5	600,607	600,554	600,52	600,491	600,448	600,467	600,458	600,451	600,506	600,502	600,557	600,557	600,597
PQ6	600,15	600,131	600,13	600,118	600,106	600,098	600,077	600,054	600,079	600,027	600,149	600,252	600,29
PQ7	600,02	600,03	600,032	600,03	600,036	600,02	600,028	600,044	600,055	600,019	600,009	599,993	600,059
PQ8	600,297	600,27	600,245	600,235	600,165	600,173	600,171	600,189	600,221	600,238	600,249	600,24	600,281
PQ9	600,387	600,351	600,313	600,3	600,237	600,248	600,245	600,259	600,289	600,246	600,319	600,314	600,356
PR1	600,432	600,4	600,379	600,381	600,379	600,409	600,436	600,259	600,272	600,396	600,491	600,505	600,565
PR2	600,391	600,344	600,274	600,235	600,192	600,209	600,208	600,205	600,244	600,25	600,3	600,288	600,326
PR3	602,165	602,093	602,035	601,998	601,948	601,934	601,909	601,899	601,928	601,658	601,956	601,978	601,977
PT1 liso	616,325	615,52	615,462	615,447	615,947	617,531	617,636	617,288	615,941	615,394	615,387	615,339	615,458
PT1 estrado	616,279	615,475	615,325	615,405	615,814	617,489	617,602	617,249	615,919	615,371	615,364	615,324	615,435
PT2	600,597	600,552	600,512	600,497	600,471	600,504	600,521	600,524	600,554	600,392	600,377	600,367	600,438
PT3	600,687	600,677	600,671	600,67	600,619	600,624	600,629	600,642	600,677	600,57	600,589	600,583	600,619
PT4	601,306	601,304	601,299	601,294	601,286	601,288	601,286	601,311	601,314	598,218	601,335	601,468	601,518
PT5	608,46	608,474	608,186	608,053	608,003	608,01	608,012	608	608,081	607,975	608,07	608,285	608,554
PT6	624,045	623,963	624,026	624,062	624,037	624,075	623,838	623,809	623,896	623,853	623,926	624,366	624,121

POZO	Z 1/02/97	Z 15/02/97	Z 1/03/97	Z 15/03/97	Z 29/03/97	Z 12/04/97	Z 26/04/97	Z 10/05/97	Z 24/05/97	Z 07/06/97	Z 12/07/97	Z 28/07/97
PQ1	600,709	600,109	600,663	600,745	600,693	600,674	600,674	600,663	600,687	600,688	600,661	605,268
PQ10	600,43	600,08	600,285	600,554	600,451	600,388	600,384	600,354	600,579	600,379	600,373	607,097
PQ11	600,478	600,116	600,299	600,483	600,499	600,404	600,412	600,399	600,425	600,424	600,405	608,047
PQ12	600,312	599,881	600,192	600,337	600,365	600,26	600,226	600,229	600,255	600,266	600,213	606,747
PQ2	600,321	599,505	600,297	600,361	600,515	600,3	600,242	600,265	600,272	600,607	600,256	606,222
PQ3	600,229	599,717	599,86	600,28	600,276	600,207	600,18	600,199	600,193	600,223	600,185	605,217
PQ4	600,157	599,456	600,139	600,19	600,189	600,11	600,113	600,096	600,131	600,121	600,126	605,061
PQ5	600,636	600,268	600,495	600,665	600,81	600,598	600,55	600,563	600,565	600,594	600,54	605,881
PQ6	600,277	600,063	600,1	600,127	600,113	600,103	600,069	600,08	600,094	600,113	600,101	605,847
PQ7	600,042	599,234	600,145	600,122	600,07	600,058	600,046	600,04	600,044	600,058	599,042	604,99
PQ8	600,313	599,858	600,186	600,329	600,331	600,26	600,226	600,227	600,248	600,27	600,282	606,616
PQ9	600,393	599,974	600,264	600,415	600,47	600,344	600,297	600,301	600,329	600,346	600,31	607,079
PR1	600,604	600,205	600,569	600,659	600,714	601,609	600,535	600,553	600,591	600,579	600,521	605,901
PR2	600,361	599,967	600,24	600,398	600,628	600,326	600,282	600,28	600,321	600,318	600,27	605,256
PR3	601,988	601,874	601,608	601,69	601,698	601,69	601,673	601,841	601,798	601,792	601,73	606,395
PT1 liso	615,62	615,99	617,262	617,592	617,433	617,872	620,785	621,391	620,686	618,455	615,505	628,975
PT1 estrado	615,543	616,024	617,229	617,57	617,438	617,854	620,763	621,372	620,665	618,42	615,477	
PT2	600,55	600,357	600,465	600,64	600,622	600,602	600,518	600,571	600,602	600,535	600,379	613,682
PT3	600,66	600,281	600,535	600,684	600,684	600,645	600,572	600,6	600,622	600,657	600,647	610,457
PT4	601,546	601,57	601,536	601,585	601,594	601,584	600,977	601,279	601,272	601,284	601,208	612,97
PT5	608,852	608,835	607,948	609,053	608,92	608,866	608,908	609,056	608,926	608,662	608,173	614,31
PT6	624,196	624,187	624,187	624,182	624,158	624,065	624,005	623,911	623,838	623,685	624,063	631,763

**TABLA 9-II. RESUMEN DEL SEGUIMIENTO PIEZOMÉTRICO REALIZADO EN LOS POZOS DE C.N.J.C. ENTRE LOS MESES DE AGOSTO 96 A JULIO 97.**

Piezómetro	Cota media (m)	Cota máxima (m)	Fecha cota máxima	Cota máxima (m)	Fecha cota mínima	Variación (m)
PQ1	600,651	600,745	15/03/97	600,109	15/02/97	0,636
PQ2	600,258	600,607	07/06/97	599,505	15/02/97	1,102
PQ3	600,172	600,28	15/03/97	599,717	15/02/97	0,563
PQ4	600,094	600,19	15/03/97	599,456	15/02/97	0,734
PQ5	600,542	600,81	29/03/97	600,268	15/02/97	0,542
PQ6	600,122	600,29	18/01/97	600,03	07/12/96	0,263
PQ7	600,013	600,15	01/03/97	599,234	15/02/97	0,911
PQ8	600,230	600,331	29/03/97	599,858	15/02/97	0,473
PQ9	600,305	600,47	29/03/97	599,974	15/02/97	0,496
PQ10	600,365	600,579	24/05/97	600,08	15/02/97	0,499
PQ11	600,391	600,499	29/03/97	600,116	15/02/97	0,383
PQ12	600,228	600,365	29/03/97	599,881	15/02/97	0,484
PR1	600,520	601,609	12/04/97	600,205	15/02/97	1,404
PR2	600,287	600,628	29/03/97	599,967	15/02/97	0,661
PR3	601,865	602,165	03/08/96	601,61	01/03/97	0,557
PT1 liso	616,921	621,391	10/05/97	615,34	04/01/97	6,052
PT1 estriado	616,885	621,372	10/05/97	615,32	04/01/97	6,048
PT2	600,503	600,64	15/03/97	600,357	15/02/97	0,283
PT3	600,620	600,687	03/08/96	600,281	15/02/97	0,406
PT4	601,363	601,594	29/03/97	600,977	26/04/97	0,617
PT5	608,426	609,056	10/05/97	607,95	01/03/97	1,108
PT6	624,019	624,37	04/01/97	623,685	07/06/97	0,681

Se ha observado una relación directa entre el flujo de agua en la terraza y el nivel del Embalse de Zorita, de manera que cualquier variación en el mismo controla el funcionamiento piezométrico de la terraza, la circulación del agua y los gradientes de flujo.

En general, el nivel de agua en la terraza se encuentra unos centímetros por encima del nivel del embalse de Zorita (599,8 m) con lo que permanentemente existe un flujo lento pero continuo desde el aluvial hacia el río, con una cierta dirección SE-NW.

Se trata de una circulación con un gradiente bajo que se atenúa en la zona más llana del depósito.

El gradiente de este flujo se ha mantenido más o menos constante a lo largo del año, variando únicamente debido a las oscilaciones del embalse.

Así, en la fecha en la que se detectaron los niveles piezométricos mínimos (15/02/97) se había producido un descenso de 2 m en el nivel del embalse con motivo de unas obras en la presa de Zorita. Las isopiezas resultantes de esas medidas muestran un flujo acentuado hacia el río con un gradiente máximo en el área central.

Una vez terminadas las reparaciones el embalse recuperó su nivel llegando a estar unos días algo más alto de lo habitual, momento en el que se detectaron los niveles piezométricos máximos. Estos máximos no se alcanzaron en la misma fecha para todos los pozos más próximos al río hasta los más alejados en medias correlativas desde el 1 de marzo hasta el 29 del mismo mes.

Comenzó subiendo primero el PQ7, muy próximo al río, a continuación los máximos son de los PQ1, PQ4 y PQ3 situados en paralelo al río y a la misma distancia de este, igual que sucede con los pozos PQ8 y PQ12 pero que reaccionan un poco después, posiblemente por el efecto de barrera ejercido por las torres de refrigeración que retrasan su respuesta hasta equipararla a la fila PQ5 y PT4, todos ellos el 29 de marzo. El resto de los piezómetros alcanzan su nivel máximo en diferentes fechas.

La representación de las isopiezas del 29 de marzo muestran un estancamiento en la circulación del agua de la terraza, cesando el flujo hacia el río.

La Figura 9-1 representa las isopiezas de febrero (nivel mínimo) y la figura 9-2 los del nivel máximo en la mayor parte de los piezómetros de la terraza, pudiéndose apreciar las variaciones en el gradiente del flujo. En consecuencia, un adecuado manejo del nivel del embalse sería el sistema más directo y eficaz para realizar un control eficaz sobre el acuífero aluvial, tanto para facilitar su drenaje como para evitarlo.

El control piezométrico continua con una cadencia diferente, dentro del Programa de Vigilancia y Control de la Aguas Subterráneas. Aquí ya se incluyen los nuevos pozos PP1 y PP2.

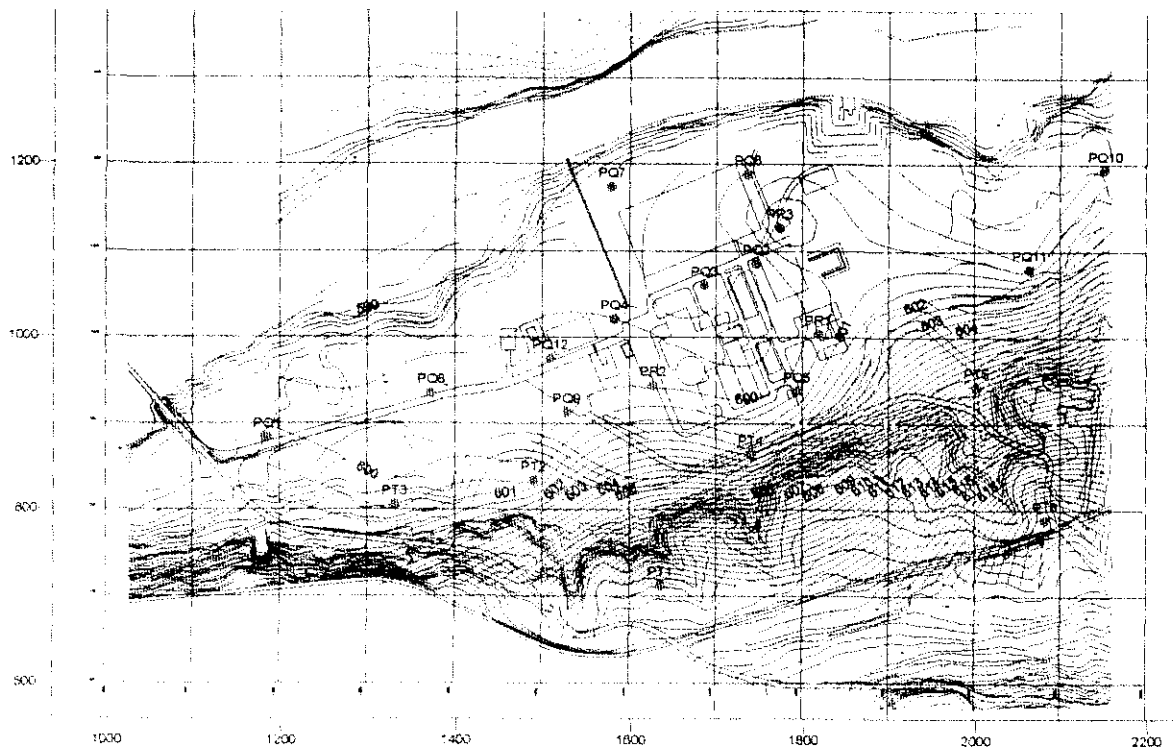


Figura 9-1. Isopiezas correspondientes a las medidas del 15/02/97 (niveles mínimos alcanzados en la terraza).

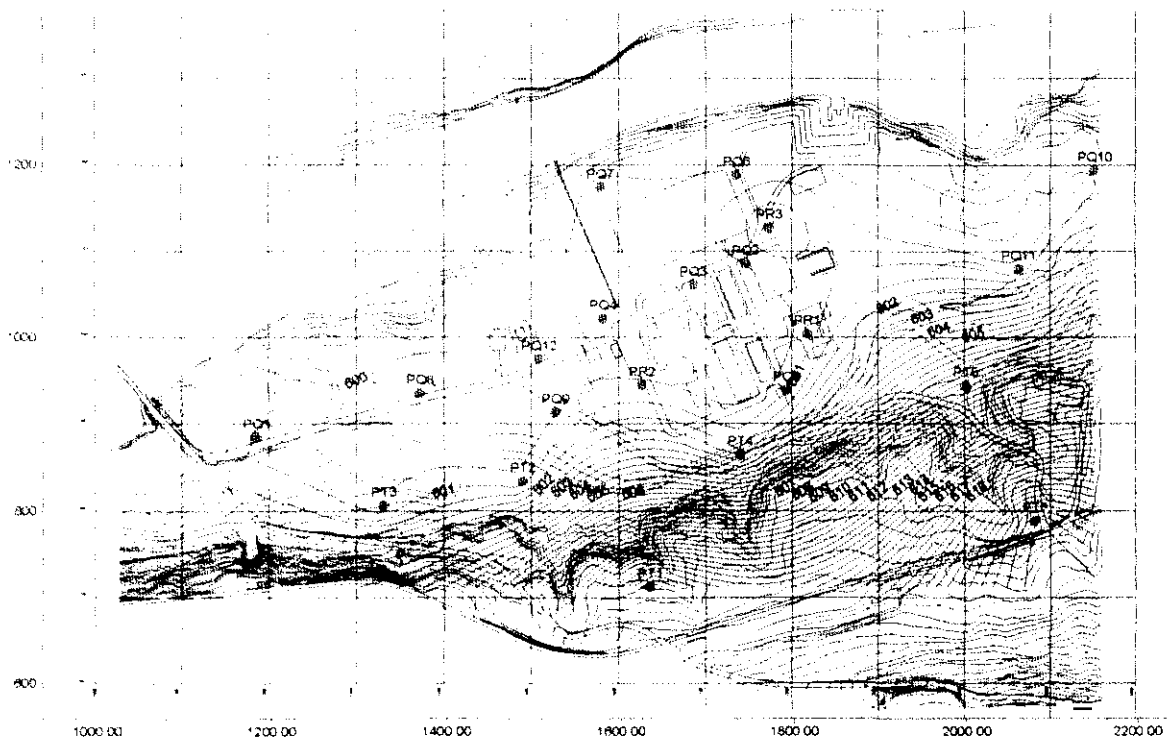


Figura 9-2. Isopiezas correspondientes a las medidas del 29/03/97 (niveles máximos alcanzados en la terraza).



## 10 ANÁLISIS DE SUELOS

Se han tomado muestras de suelos correspondientes tanto a la terraza aluvial como a los materiales terciarios para conocer sus características físico-químicas y texturales de cara a la valoración de sus comportamientos frente a la circulación del agua.

En cuanto a las muestras de materiales terciarios, se seleccionaron en los testigos de los sondeos de recuperación (PR), eligiéndose tramos representativos en las zonas que por su composición y localización resultaban de interés para valorar el comportamiento del suelo en función de sus componentes.

Se tomaron muestras del suelo en los sondeos PR1, PR2 y PR3, entre 11 y 13 m de profundidad en tramos arcillosos interesantes especialmente debido a su localización en profundidad, correspondientes al techo del Terciario, próximos al contacto con el Cuaternario. Se trata de arcillas representativas del tramo sobre el que se apoya el depósito aluvial, que por sus características físico-químicas, derivadas de su composición mineralógica, pueden participar en los procesos de dispersión y/o acumulación de una posible contaminación.

En la terraza aluvial (Cuaternario) las muestras han sido tomadas en la zanja abierta para la construcción de la torre de refrigeración. (Véase apdo. 2.2. de este capítulo).

Sobre todas las muestras de suelo se realizaron determinaciones mineralógicas y físico-químicas.

En las siguientes tablas se sintetizan las características mineralógicas de las muestras de materiales terciarios y cuaternarios, determinadas por difracción de Rayos X.

Análisis mineralógico de las muestras tomadas en el Terciario.

	SONDEO	PROFUNDIDAD	ANÁLISIS MINERALÓGICO						
			CUARZO	CALCITA	DOLOMITA	FELDESPATO	MICA	CAOLINITA	YESO
Muestra 1	PR-2	11,00 - 11,50 m	20%	50%	10%	5%	15%	---	---
Muestra 2	PR-3	12,50 - 13,00 m	10%	35%	5%	Trazas	25%	5%	15%
Muestra 3	PR-1	12,50 - 13,00 m	10%	30%	10%	Trazas	20%	10%	20%

Análisis mineralógico de las muestras recogidas en la terraza aluvial.

Muestra	Tamaño del Grano	Cuarzo	Calcita	Dolomita	Feldespatos	Mica
GR-1	< 0,075 mm	25%	5%	25%	5%	10%
GR-2	< 0,106 mm	35%	20%	35%	5%	5%
GR-3	<0,075 mm	30%	20%	35%	5%	10%
GR-4	< 0,075 mm	25%	25%	35%	5%	10%
GR-5	< 0,106 mm	30%	30%	35%	Trazas	5%

La composición de los materiales presentes en la zona es esencialmente carbonatada, compuesta por calcita y dolomita en unas proporciones que varían entre el 30% y el 75%.

En cuanto al resto de los componentes minerales, existe una diferencia clara entre las arcillas del terciario y las arenas cuaternarias de la terraza aluvial. En las arcillas predominan las micas (filosilicatos) como mineral detrítico y además aparecen yesos correspondientes a los niveles intercalados entre las arcillas y margas, mientras que en la terraza aluvial el mineral detrítico más significativo es el cuarzo y no aparecen yesos depositados en este subambiente.

---

## 11 ANÁLISIS QUÍMICO Y RADIOQUÍMICO DE LAS AGUAS.

---

Desde Diciembre de 1996 a Agosto de 1997, se han llevado a cabo 4 muestreos de agua subterránea, tomada en los 22 piezómetros de control instalados en las inmediaciones de CNJC. Posteriormente se vienen realizando nuevos muestreos dentro del Plan de Vigilancia (Capítulo V).

Las fechas en las que se realizaron los muestreos fueron las siguientes:

- 1<sup>er</sup> Muestreo: días 3 a 5 de diciembre de 1996.
- 2º Muestreo: días 18 al 20 de febrero de 1997.
- 3<sup>er</sup> Muestreo: días 22 a 24 de abril de 1997.
- 4º Muestreo: por problemas técnicos se desarrolló en 2 fases: 15-16 de julio y 19-20 de agosto de 1997.

En todas las muestras se realizaron determinaciones in situ y en laboratorio.

Las muestras de agua en los pozos se tomaron según el PROCEDIMIENTO: TOMA DE MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS POZOS DE MONITORIZACIÓN DE LA CNJC. (véase Anexo 11).



Toma de muestras en el pozo PP-2.

Previo a la toma de muestras se realizó una inspección de cada piezómetro y la limpieza del mismo a fin de renovar el agua y tomar agua del acuífero y no el agua estancada. El desarrollo de estos trabajos también se describe en el Procedimiento citado.

Durante todo el proceso de toma de muestras se tomaron las medidas necesarias de limpieza que asegurasen la ausencia de alteración de la muestra y evitar en lo posible la contaminación de las muestras entre sí. Todos los utensilios y aparatos usados tanto para la toma de muestras como para las determinaciones "in situ" se limpiaron debidamente después de cada operación.

Cada muestra debidamente envasada y etiquetada se trasladó refrigerada hasta los laboratorios de NORCONTROL, S.A. en Sada (La Coruña) para proceder a las determinaciones de los parámetros físico-químicos.

Las muestras tomadas para los análisis radiológicos fueron enviadas por servicio de mensajería (SEUR) desde la C.N.J.C. a los laboratorios de Medidas Ambientales, S.L. en Medina de Pomar (Burgos), acompañadas de su correspondiente cadena de custodia.



**Llenado de recipientes con el tomamuestras de botella  
(Bailers)**

En cada muestreo se tomó una muestra de control de calidad, en un piezómetro elegido al azar.

En total se recogieron 91 muestras durante las 4 campañas de muestreo.

En general, al comenzar la limpieza en los pozos, el agua de los mismos sale limpia pero a medida que avanzaba el vaciado de los 3 volúmenes de agua establecidos por la renovación del piezómetro, el agua se enturbiaba y aparecían lodos en la mayoría de ellos. Además, en algunos de los pozos, con la limpieza y el muestreo, el nivel de agua descende ostensiblemente, pero en general, llegan a recuperarse para continuar con el muestreo.

En todos los pozos se ha observado el descenso brusco de su nivel durante el proceso de toma de muestras. Esto es especialmente notorio en los pozos PQ6, PQ7 y RP3 y los sondeos de la ladera, que se quedan secos aunque posteriormente van recuperando.

Sin embargo, en pozos como el PQ4, RP1, PR2 y PQ5 se puede realizar un bombeo continuo de agua a bajo caudal sin descenso de nivel y obteniéndose agua limpia.

El pozo PT4 se vacía con la limpieza quedándose seco y su recuperación es muy lenta.

### 11.1. DETERMINACIONES ANALÍTICAS.

#### 11.1.1. **PARAMETROS FISICO-QUIMICOS.**

A fin de realizar una caracterización físico-química completa de las aguas de los piezómetros, establecer las concentraciones de cada sustancia en el agua y valorar sus posibles modificaciones, se han determinado los siguientes parámetros en cada una de las muestras:

- Determinaciones "in situ".
  - Temperatura.
  - pH.
  - Conductividad.
  - Oxígeno disuelto.
  
- Determinaciones en laboratorio.
  - pH.
  - Conductividad.
  - Cloruros.
  - Sulfatos.

- Carbonatos.
- Bicarbonatos.
- Nitratos.
- Nitritos.
- Amoníaco.
- Sodio.
- Calcio.
- Magnesio.
- Potasio.
- Fósforo.
- Sílice.

Se trata de una analítica bastante completa para establecer relaciones entre las diferentes sustancias disueltas en el agua, y valorar el grado de información de cada una, a fin de diseñar un muestreo selectivo de los parámetros más significativos para el Plan de Vigilancia.

#### 11.1.2. PARAMETROS RADIOQUÍMICOS.

Los parámetros determinados, fueron los siguientes:

- Análisis de H-3 (Tritio).
- Análisis de actividad  $\beta$  total y  $\beta$  resto.
- Determinación de emisores gamma.

## 11.2. MÉTODOS ANALÍTICOS.

### 11.2.1. PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.

Nº PROCEDIM. INTERNO	REV	TITULO
8100	0	Determinación de pH. Método electrométrico.
8210	0	Determinación de la conductividad. Método electrométrico.
8125	0	Determinación de cloruros. Método de electrodo selectivo.
8128	0	Determinación de sulfatos. Método gravimétrico.
		Determinación de carbonatos y bicarbonatos. Método volumétrico.
8132	0	Determinación de nitratos. Método espectrofotométrico de salicilato sódico.
8270	0	Determinación de nitritos. Método espectrofotométrico de la sulfanilamida.
8131	0	Determinación de nitrógeno amoniacal. Método de destilación.
8301	0	Determinación de sodio. Método de emisión atómica con llama aire-acetileno.
8302	0	Determinación de potasio. Método de emisión atómica con llama aire-acetileno.
8303	0	Determinación de calcio. Método de absorción atómica con llama aire-acetileno.
		Determinación de fósforo. Método colorimétrico.
8300	0	Determinación de silicio. Método de absorción atómica con llama óxido nitroso-acetileno.
8304	0	Determinación de magnesio. Método de absorción atómica con llama de aire-acetileno.

### 11.2.2. PARAMETROS RADIOQUÍMICOS.

- Beta Total y Resto.

Contaje en contador proporcional. El potasio se determina por espectrometría IPC-plasma.

- Tritio.

En contador de centelleo líquido.

- Espectrometría Gamma.

Detector de Ge (Li) y analizador multicanal.



### 11.3. RESULTADOS.

En las tablas 11.3-I a 11.3-IV se presentan los resultados de los análisis químicos realizados en los cuatro muestreos y en la Tabla 11.3-V se reflejan los valores medios.

Las figuras 11.3-1 a 11.3-9 muestran la distribución de los diferentes parámetros medios en el acuífero aluvial. En concreto se representan pH, Conductividad, Cloruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Calcio, Sodio, Potasio y Sílice.

Dichos resultados medios se representan a su vez en el diagrama Piper adjunto como figura 11.3-10. Como puede observarse, en los cationes el calcio es el predominante con concentraciones comprendidas entre el 45% y 75% como meq/l, seguido del magnesio cuyo contenido oscila entre el 25% y 55%. En cuanto al resto de los cationes, la concentración de sodio más potasio oscila del 2% al 18% excepto para el piezómetro PQ3 cuyo porcentaje medio se sitúa en el 23% debido fundamentalmente a un resultado anómalo del 16.4.97.

Con respecto a los aniones, se observa una clara diferencia entre las aguas del acuífero aluvial y las del terciario. Estas últimas son básicamente sulfatadas, mientras que los cuaternarios presentan menor contenido en sulfatos y una concentración de bicarbonatos que oscila del 35% al 60%. En cuanto a los cloruros, se sitúan prácticamente en el 20% para aguas de la terraza y supera el 15% en las terciarias.

Coincidiendo con el periodo de muestreo de los piezómetros se realizó con periodicidad mínima mensual, un análisis químico del agua del Embalse de Zorita (río Tajo), cuyos resultados se reflejan en la Tabla 11.3-VI.

Se trata de unas aguas sulfatadas-bicarbonatadas cálcicas, variando ligeramente su composición química entre los distintos muestreos.

Los valores medios de la Tabla, expresados como meq/l, se reflejan en el diagrama de Piper de la figura 11.3-11. De la misma se desprende que el calcio es predominante y su concentración varía entre el 68% y el 77%.

En cuanto al resto de los cationes, el contenido en Sodio-Potasio es bajo y prácticamente constante en todos los muestreos con valores entre 5-8% con una muestra anómala el día 16 de abril que alcanza el 13%, mientras el magnesio varía entre el 20% y el 38%.

En cuanto a los aniones, el predominante es el sulfato, con una concentración comprendida entre el 53% y el 65% con 2 muestras anómalas con un contenido inferior de sulfato que llega a ser del 40% en la muestra de abril.

El contenido de cloruros es bajo y prácticamente constante en todas las muestras, rondando el 5%.

**Tabla 11.3-I. ANALISIS FISICO-QUIMICO E LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC PARA SU CONTROL INICIAL.**

MUESTRA	96120001	96120002	96120003	96120004	96120005	96120006	96120007	96120008	96120009	96120010	96120011
SONDEO	PQ1	PT3	PQ12	PQ5	PR1	PR2	PR3	PQ2	PQ6	PQ4	PQ8
FECHA	3/12/96	4/12/96	3/12/96	4/12/96	4/12/96	4/12/96	4/12/96	4/12/96	5/12/96	4/12/96	4/12/96
HORA	11:35	18:55	17:00	13:10	13:45	15:15	15:55	16:30	10:50	17:55	18:35
NIVEL	5.67 m	9.68 m	6.51 m	5.38 m	5.65 m	5.03 m	5.02 m	6.02 m	5.87 m	4.98 m	6.39 m
Temperatura	18°	15°	17°	16°	16°	16°	17°	17°	15.5°		15°
pH campo	6.9	7.34	7.5	6.7	6.77	7.16	7.02	7.08	6.97	7.47	7.14
pH laboratorio	7.4	7.6	7.4	7.4	7.5	7.4	7.5	7.6	7.6	7.3	7.2
Conduct(μs/cm)	1.834	3.750	1.106	1.080	3.940	1.230	3.520	1.640	2.970	1.014	1.682
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	367	554	377	309	616	280	298	283	160	349	339
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	732	2.602	248	288	2.665	433	2.478	767	1.886	299	736
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	345	137	329	275	107	259	122	204	131	271	335
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1.96	<0.23	0.89	1.47	<0.23	<0.23	<0.23	<0.23	<0.23	<0.23	4.62
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	<0.03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0.29	0.78	0.14	0.43	0.91	0.31	0.61	0.29	0.4	0.49	0.39
Na <sup>+</sup> (mg/l)	204	245	71	87	377	102	296	235	332	92	173
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	709	663	490	184	638	347	571	969	643	194	765
Mg(mg/l)	86	290	115	55	300	72	497	77	166	51	64
K(mg/l)	4.75	16.25	5	2.5	17	4.25	16.5	7.25	10	2.5	3.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	0.09	0.09	0.23	0.07	<0.01	0.23	0.51	<0.01	0.28	0.21	<0.01
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	22.9	38.73	18.62	9.42	14.33	13.48	22.47	17.76	33.38	26.75	9.63

MUESTRA	96120012	96120013	96120014	96120015	96120016	96120017	96120018	96120019	96120020	96120021	96120022
SONDEO	PQ10	PQ11	PQ3	PQ7	PQ9	PT2	PT4	PT5	PT6	PT1 estriado	PT1 liso
FECHA	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96	5/12/96
HORA	8:55	10:00	11:30	12:00	14:55	15:20	19:20	19:00	17:00	18:15	17:50
NIVEL	6.85 m	7.72 m	5.02 m	4.99 m	7.80 m	13.22 m	11.74 m	6.37 m	7.91 m	13.605 m	13.61 m
Temperatura	15°	15°	15°	15°	16°	15°		14°	16°	14°	13°
pH campo	6.32	6.66	7.34	7.97	7.32	6.28	6.67	6.64	6.92	7.03	7.24
pH laboratorio	7.2	7.2	7.7	8.1	7.3	7.2	---	7.3	7.3	7.4	7.4
Conduct(μs/cm)	1.474	2.700	1.309	807	1.003	3.520	---	1.252	964	1.187	1.247
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	447	616	234	225	280	267	---	492	289	300	324
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	608	1.433	559	231	258	2.013	---	358	170	338	395
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	290	244	198	183	290	207	---	351	290	265	207
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	---	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	7.16	3.07	<0.23	<0.23	3.07	<0.23	3.16	<0.23	<0.23	<0.23	14.2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0.06	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	0.06	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0.29	0.31	0.14	0.09	<0.06	0.52	0.83	0.08	0.42	0.22	<0.06
Na <sup>+</sup> (mg/l)	133	260	230	357	82	291	173	82	66	46	66
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	770	709	250	209	663	577	755	250	607	556	585
Mg(mg/l)	77	128	83	57	147	198	96	83	115	179	153
K(mg/l)	4.5	9.5	5	4	2.5	6.75	11.25	2.5	4.75	4.5	4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.12	0.07	0.05	0.16	<0.01	<0.01
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	11.77	18.62	16.05	9.84	31.67	46.22	19.05	24.82	29.96	65.91	53.93

**Tabla 11.3-II. ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC (SEGUNDO MUESTREO/FEBRERO 97).**

MUESTRA	97020023	97020024	97020025	97020026	97020027	97020028	97020029	97020030	97020031	97020032	97020033	9702003
SONDEO	PQ1	PQ8	PQ12	PQ9	PT3	PT2	PT4	PQ10	PQ11	PT5	PT6	PT1 liso
FECHA	18/02/97	18/02/97	18/02/97	18/02/97	18/02/97	18/02/97	18/02/97	18/02/97	18/02/97	19/02/97	19/02/97	19/02/97
HORA	10:10	10:40	11:25	12:30	15:10	15:50	16:45	17:15	18:05	8:30	9:40	10:15
NIVEL	5,27 m	6,89 m	7,00 m	7,25 m	10,29 m	13,39	11,40 m	7,08 m	8,01 m	5,48 m	7,58 m	12,69 m
Temperatura	14°	14,5°	15,5°	16,5°	15,9	16,5°	16,2°	16,2°	15,8°	12,4°	15,9°	15,6°
pH campo	7,9	7	6,9	7,1	7,1	6,7	7	7	7,2	7,4	7	7,2
Conduct campo	1390	1270	940	910	3870	3210	3900	1500	1600	1200	900	1000
pH laboratorio	7,3	7,3	7,4	7,6	7,5	7,1	7,2	7,1	7,2	7,5	7,4	7,5
Conduct(μs/cm)	1.368	1.175	935	912	959	2.860	3.090	1.442	1.699	1.323	960	1.064
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	41	11	16	19	36	17	24	44	46	44	24	21
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	530	351	285	220	2.618	1.587	1.744	599	726	388	301	334
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	311	320	275	259	152	275	244	278	323	351	250	281
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	6,45	15	5,98	0,43	2,16	0,49	14	3,37	6,11	1,67	4,9	6,17
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,06
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Na(mg/l)	20	18	15	16	57	48	109	26	23	23	15	14
Ca(mg/l)	832	886	238	305	632	450	612	957	840	1011	831	234
Mg(mg/l)	152	77	60	103	472	252	283	91	94	152	94	63
Fe(mg/l)	6	4	3	4	16	13	15	5	4	3	3	3
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/l)	0,47	<0,01	<0,01	0,4	0,47	0,23	0,35	<0,01	<0,01	<0,01	0,33	<0,01
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	65	25	25	20	29	40	26	21	24	23	30	27

MUESTRA	97020035	97020036	97020037	97020038	97020039	97020040	97020041	97020042	97020043	97020044	97020045
SONDEO	PT1estriado	PQ7	PQ4	PR2	PQ6	PQ5	PR1	PR3	PQ2	PQ3	PQ5
FECHA	19/02/97	19/02/97	19/02/97	19/02/97	20/02/97	19/02/97	19/02/97	20/02/97	20/02/97	20/02/97	20/02/97
HORA	10:45	12:30	13:00	15:00	8:20	16:30	17:45	9:15	9:40	10:10	10:30
NIVEL		5,64 m	5,12 m	5,40 m	5,86 m	5,74 m	5,78 m	5,07 m	6,28 m	5,28 m	5,71 m
Temperatura	15,7°	16,1°	16,1°	15,7°	15,5°	14,8°	16,4°	14,1°	15,2°	15,1°	14,6°
pH campo	7,2	7,5	7	7,2	7,1	7,2	7	7,2	7,4	7,3	7,2
Conduct campo	1000	800	1000	1900	2300	1000	4200	3800	1000	1200	1000
pH laborat	7,5	8,3	7,5	7,5	7,6	7,6	7,5	7,6	7,9	7,9	7,8
Conduct(μs)	1.063	846	960	1.893	2.290	1.101	4.000	3.780	948	1.274	1.059
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	21	16	23	20	9	20	49	21	19	19	21
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	359	228	257	356	1.264	948	2.305	2.142	491	283	317
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	275	168	238	214	76	275	101	113	244	153	256
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	15	10,78	6,9	2,59	2,16	15	1,34	<0,23	<0,23	14,2	15
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,03	29	<0,03	0,03	<0,03	0,06	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Na(mg/l)	5	54	16	27	70	21	136	78	35	80	23
Ca(mg/l)	225	209	167	508	647	202	764	752	963	163	135
Mg(mg/l)	43	74	37	111	252	57	409	440	60	37	49
Fe(mg/l)	3	5	3	7	8	3	19	16	7	6	3
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/l)	<0,01	0,26	<0,01	<0,01	<0,01	1,93	0,07	<0,01	0,47	<0,01	<0,01
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	15	32	11	12	79	24	37	41	39	26	11

**Tabla 11.3-III. ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC (TERCER MUESTREO / ABRIL 97).**

MUESTRA	97040046	97040047	97040048	97040049	97040050	97040051	97040052	97040053	97040054	97040055	97040056	9704005
SONDEO	PQ1	PQ8	PQ12	PQ9	PT3	PT2	PT4	PT5	PT6	PT1fiso	PT1estrado	PQ11
FECHA	22/04/97	22/04/97	22/04/97	22/04/97	22/04/97	22/04/97	22/04/97	22/04/97	22/04/97	23/04/97	23/04/97	23/04/97
HORA	10:00	11:00	11:50	13:30	15:05	16:00	16:25	17:00	18:00	8:00	9:30	11:00
NIVEL	4,59 m	6,37 m	6,5 m	6,75 m	9,86 m	13,16 m	11,51 m	5,41 m	7,73 m	8,71 m	8,72 m	7,61 m
Temperatura(°C)	14,3	14,8	15,6	16,4	16,7	16,3	17,5	15,8	16,7	15	15	16
pH campo	7,1	7,04	7,21	7,22	7,4	6,96	6,98	6,48	7,22	7,2	7,2	7,1
Conduct campo	1,078	1,181	1,040	962	3,900	2,460	3,420	1,420	1,040	1,103	1,108	1,494
pH laboratorio	7,1	7	7,2	7,2	7,4	7	7	6,5	7,2	7,2	7,2	7,1
Conduct(μs/cm)	1,078	1,181	1,040	962	3,900	2,460	3,420	1,420	1,040	1,103	1,108	1,494
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	25	25	23	24	35	20	23	38	30	28	29	35
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	328	324	303	278	482	1,657	2,730	2,268	466	355	370	590
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	311	366	305	265	125	259	204	366	275	302	305	320
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	1,36	5,51	7,92	6,65	1,63	3,89	4,59	1,52	3,35	17,47	20,24	6,88
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,09	0,08	0,04	0,08	0,09	0,04	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,07
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,55	0,65	0,07	0,43	0,6	1,05	0,86	1,07	0,43	0,3	0,26	0,34
Ca(mg/l)	1019	736	348	792	703	501	771	786	676	225	204	915
Mg(mg/l)	398	716	477	503	530	265	556	371	216	291	265	83
K(mg/l)	3	4	3	4	18	10	13	4	3	2	2	5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	0,14	1,33	0,44	1,28	0,58	0,16	0,35	2,05	2,27	0,12	0,26	0,58
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	6	56	34	62	13	19	26	64	51	36	34	17

	97040058	97040059	97040060	97040061	97040062	97040063	97040064	97040065	97040066	97040067	97040068
	PQ11control	PQ10	PQ4	PR2	PQ3	PQ2	PR3	PQ6	PQ7	PR1	PQ5
	23/04/97	23/04/97	23/04/97	23/04/97	23/04/97	23/04/97	23/04/97	23/04/97	24/04/97	24/04/97	24/04/97
	11:00	12:00	13:00	14:30	15:20	16:35	17:10	18:15	9:30	10:30	11:30
Nivel	7,61 m	6,7 m	4,98 m	4,98 m	5,03 m	5,98 m	4,71 m	5,76 m	4,94 m	5,31 m	5,32 m
Tc	16	15,9	15,6	15,5	16,1	16,8	15,7	16,4	15	16,2	15,6
pH cam.	7,1	7,1	7,3	7,3	7,3	7,4	7,5	7,4	7,8	7,3	7,2
Conduct c.	1,494	1,552	945	1,593	1,211	725	3,790	1,810	669	3,820	971
pH laborator.	7,1	7,1	7,3	7,3	7,3	7,4	7,5	7,4	7,8	7,3	7,2
Conduct(μs/cm)	1,494	1,552	945	1,593	1,211	725	3,790	1,810	669	3,820	971
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	47	40	24	23	28	15	21	8	9	48	21
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	504	586	260	629	368	173	2,532	967	171	2,684	237
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	326	320	256	259	305	253	122	183	229	107	290
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	7,51	9,08	8,43	4,65	0,95	1,69	1,36	5,47	13,24	2,94	9
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,03	0,09	0,07	<0,03	0,04	0,08	0,08	0,09	0,03	0,06	0,03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,13	0,48	0,27	0,14	0,09	0,59	0,92	0,48	0,23	1,36	0,47
Ca(mg/l)	36	32	19	37	66	17	286	66	128	507	23
Mg(mg/l)	890	713	155	311	263	633	668	887	916	799	240
K(mg/l)	80	477	51	451	86	477	742	424	291	795	108
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	5	6	3	7	6	7	17	9	3	17	3
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	0,56	0,93	0,16	0,4	0,75	1,63	0,14	0,42	1,68	0,28	0,12
	21	49	9	17	34	60	6	15	43	15	21

**Tabla 11.3-IV. ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC (CUARTO MUESTREO/JULIO-AGOSTO 97).**

MUESTRA	97070069	97070070	97070071	97070072	97070073	97070074	97070075	97070076	97070077	97070078	97070079	97070080
PONDEO	PQ1	PQ8	PQ12	PQ9	PT3	PT2	PT4	PT5	PT6	PT1liso	PT1estriado	PQ11
FECHA	15/07/97	15/07/97	15/07/97	15/07/97	15/07/97	15/07/97	16/07/97	15/07/97	15/07/97	16/07/97	16/07/97	19/08/97
HORA	11:00	12:00	12:45	13:50	15:15	16:15		17:30	18:00	9:00	10:30	9:00
NIVEL	4,59 m	6,37 m	6,50 m	6,76 m	9,80 m	13,33 m	11,78 m	6,14 m	7,70 m	13,55 m	13,55 m	7,63 m
Temperatura(°C)	19,8	19,5	18,1	19,8	19,7	19,1	19,8	20	20	18	18	17
pH campo	6,85	7,06	7,1	7,11	7,43	7,17	7,09	7,19	7,2	6,93	6,95	6,83
Conduct campo	913	912	828	772	1929	1492	1694	804	751	1010	997	1168
pH laboratorio	7,1	7,4	7,5	7,5	7,7	7,5	7,5	7,4	7,5	7,6	7,5	7,4
Conduct(μs/cm)	1.251	1.178	1.059	1.022	3.600	3.000	3.730	1.235	1.014	1.077	1.069	1.470
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	36	32	29	25	39	29	28	40	26	35	32	93
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	363	354	288	285	2.530	1.911	2.392	385	315	318	324	453
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	427	357	345	305	122	223	177	357	290	293	323	342
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,44	6,25	5,19	5,27	3,01	2,34	2,71	1,31	2,18	17,23	17,43	6,29
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,03	<0,03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Na(mg/l)	19	22	16	16	16	86	169	26	18	18	17	44
Ca(mg/l)	971	239	479	718	838	612	598	758	665	346	465	798
Mg(mg/l)	120	133	106	239	519	319	346	239	159	106	119	104
K(mg/l)	2	3	2	3	17	9	16	3	2	2	2	6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	0,09	0,19	0,21	0,84	1,24	0,82	0,3	0,19	1,03	0,12	0,28	2,28
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	<3	11	19	61	31	21	36	18	34	23	48	79

MUESTRA	97070081	97070082	97070083	97070084	97070085	97070086	97070087	97070088	97070089	97070090	97070091
PONDEO	PQ10	PQ7	PQ4	PQ3	PR1	PR1control	PR2	PQ5	PQ6	PR3	PQ2
FECHA	19/08/97	19/08/97	19/08/97	19/08/97	19/08/97	19/08/97	19/08/97	19/08/97	20/08/97	20/08/97	20/08/97
HORA	10:00	11:00	12:30	13:30	15:30	15:30	16:30	17:30	11:00	12:00	13:00
NIVEL	6,72 m	4,95 m	4,93 m	5,00 m	5,39 m	5,39 m	4,98 m	5,32 m	5,71 m	4,71 m	5,95 m
Temperatura(°C)	17	17,5	18,5	20,2	18,2	18,2	19,8	19,3	18,8	19,1	18,8
pH campo	6,73	7,68	7,11	7,54	7,32	7,32	7,18	7,17	7,15	7,36	7,34
Conduct campo	1268	741	930	956	2310	2310	1306	922	1550	1879	826
pH laboratorio	7,4	8	7,5	7,9	7,6	7,6	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6
Conduct(μs/cm)	1.548	796	1.061	1.004	3.820	4.010	1.684	1.033	2.070	3.750	968
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	68	21	48	5	115	115	45	<0,1	6	21	17
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	619	189	292	348	1.037	1.968	726	274	1.065	2.135	267
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	323	214	290	143	104	107	253	287	165	122	253
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	10,3	8,83	13,2	0,78	2,18	1,66	1,05	8,34	2,61	0,49	<0,44
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,18	0,11	0,04	<0,03	0,03	0,19	0,05
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	<0,06	0,09	<0,06	0,29	<0,25	<0,06	<0,06	0,18	<0,06	<0,06	<0,06
Na(mg/l)	25	84	25	68	273	294	44	21	53	189	28
Ca(mg/l)	559	794	286	305	924	953	773	205	869	949	532
Mg(mg/l)	54	68	30	28	120	120	60	24	86	90	36
K(mg/l)	7	6	4	7	24	26	11	4	12	23	7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	0,56	2,89	0,21	0,54	0,56	0,33	0,61	0,07	0,77	0,75	0,56
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	83	49	26	58	36	38	45	13	69	54	56

TABLA 11.3-V. VALORES MEDIOS DE LOS RESULTADOS ANALITICOS DE LOS 4 MUESTREOS.

POZO	pH	pH laboratorio	Conductividad	Cloruros	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na	Ca	Mg	K	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe
PQ1	7,19	7,23	1383	117	488	349	2,55	0,05	0,24	66	883	189	4	0,20	31
PQ2	7,31	7,62	1070	84	425	239	0,65	0,05	0,25	79	774	163	7	0,67	43
PQ3	7,37	7,69	1200	72	390	200	4,04	0,03	0,15	111	245	59	6	0,33	34
PQ4	7,22	7,40	995	111	277	264	7,19	0,04	0,22	38	201	42	3	0,15	18
PQ5	7,07	7,45	1046	117	437	282	8,43	0,04	0,29	38	208	61	3	0,55	17
PQ6	7,16	7,55	2288	46	1296	139	2,62	0,05	0,25	130	762	232	10	0,37	49
PQ7	7,74	8,05	780	68	205	198	8,27	7,27	0,12	156	532	122	5	1,21	33
PQ8	7,06	7,23	859	102	441	345	7,85	0,04	0,29	59	657	248	4	0,39	25
PQ9	7,19	7,40	975	87	260	280	3,86	0,04	0,15	34	620	248	3	0,63	44
PQ10	6,79	7,20	1504	150	603	303	7,48	0,05	0,22	54	750	175	6	0,39	41
PQ11	6,95	7,22	1841	198	801	307	5,59	0,04	0,19	92	816	227	6	0,72	35
PQ12	7,18	7,38	1035	111	281	314	5,00	0,03	0,08	30	389	190	3	0,22	24
PR1	7,10	7,47	3895	207	2173	105	1,67	0,08	0,65	323	781	382	19	0,23	26
PR2	7,21	7,44	1600	92	536	246	2,13	0,04	0,14	53	485	161	7	0,31	22
PR3	7,27	7,55	2860	90	2322	120	0,58	0,08	0,41	212	735	426	18	0,35	31
PT1 liso	7,14	7,43	1123	102	351	271	13,77	0,04	0,12	30	348	153	3	0,07	35
PT1 estriado	7,10	7,40	1107	96	348	292	13,23	0,03	0,15	22	363	152	3	0,14	41
PT2	6,78	7,20	2317	83	1792	241	1,74	0,03	0,42	120	535	259	10	0,33	32
PT3	7,32	7,55	3052	166	2058	134	1,76	0,05	0,38	111	709	453	17	0,60	28
PT4	6,94	7,23	2486	25	2289	208	6,12	0,04	0,45	198	684	320	14	0,27	27
PT5	6,93	7,18	1308	154	850	356	1,18	0,04	0,32	41	701	211	3	0,58	32
PT6	7,09	7,35	995	92	313	276	2,67	0,03	0,24	30	695	146	3	0,95	36

FIGURA 11.3-1. VALORES MEDIOS DE PH EN LAS AGUAS DE LOS PIEZÓMETROS DE LA C.N. JOSÉ CABRERA.

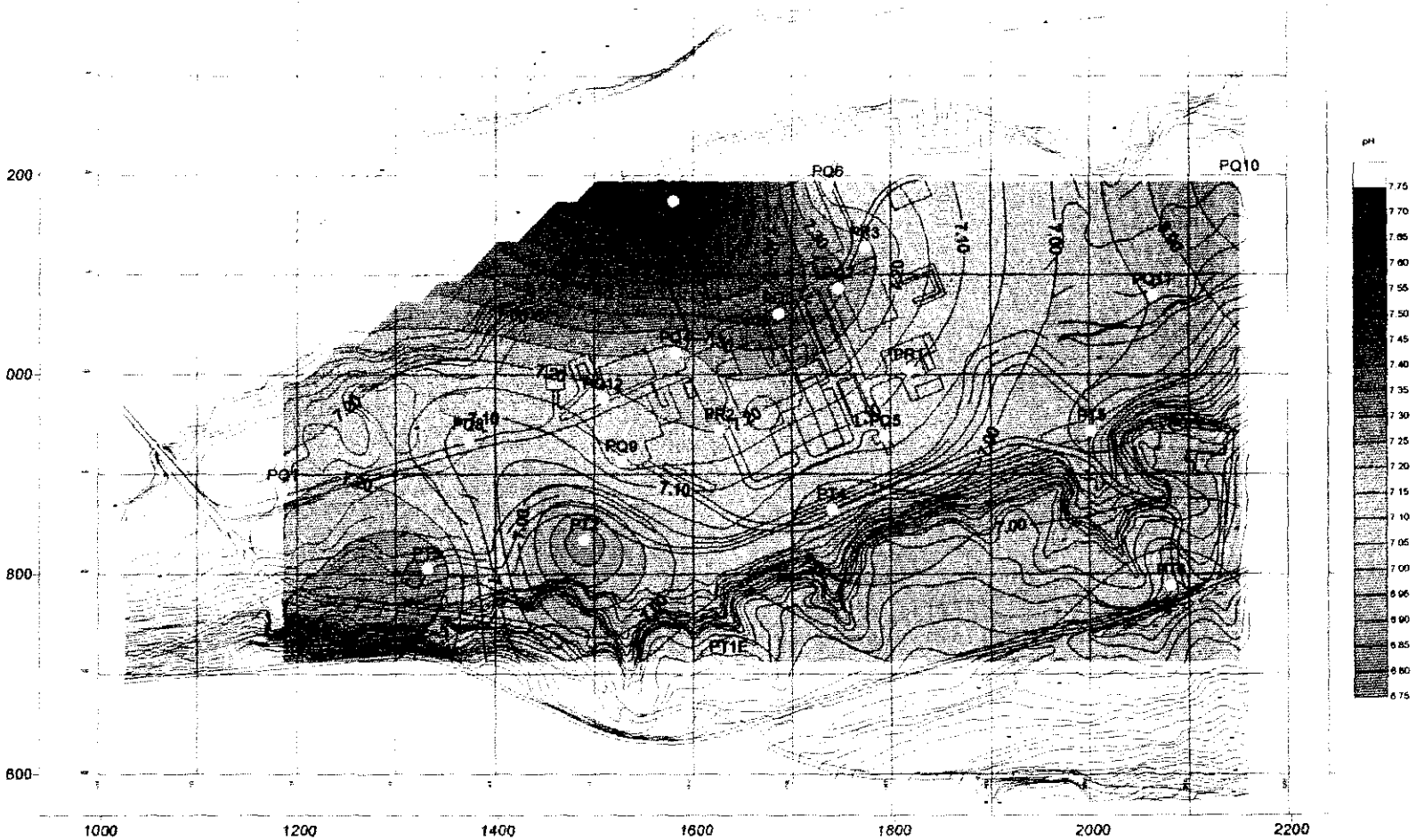


FIGURA 11.3-2. CONDUCTIVIDAD MEDIA DE LOS 4 MUESTREOS REALIZADOS EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNCJ.

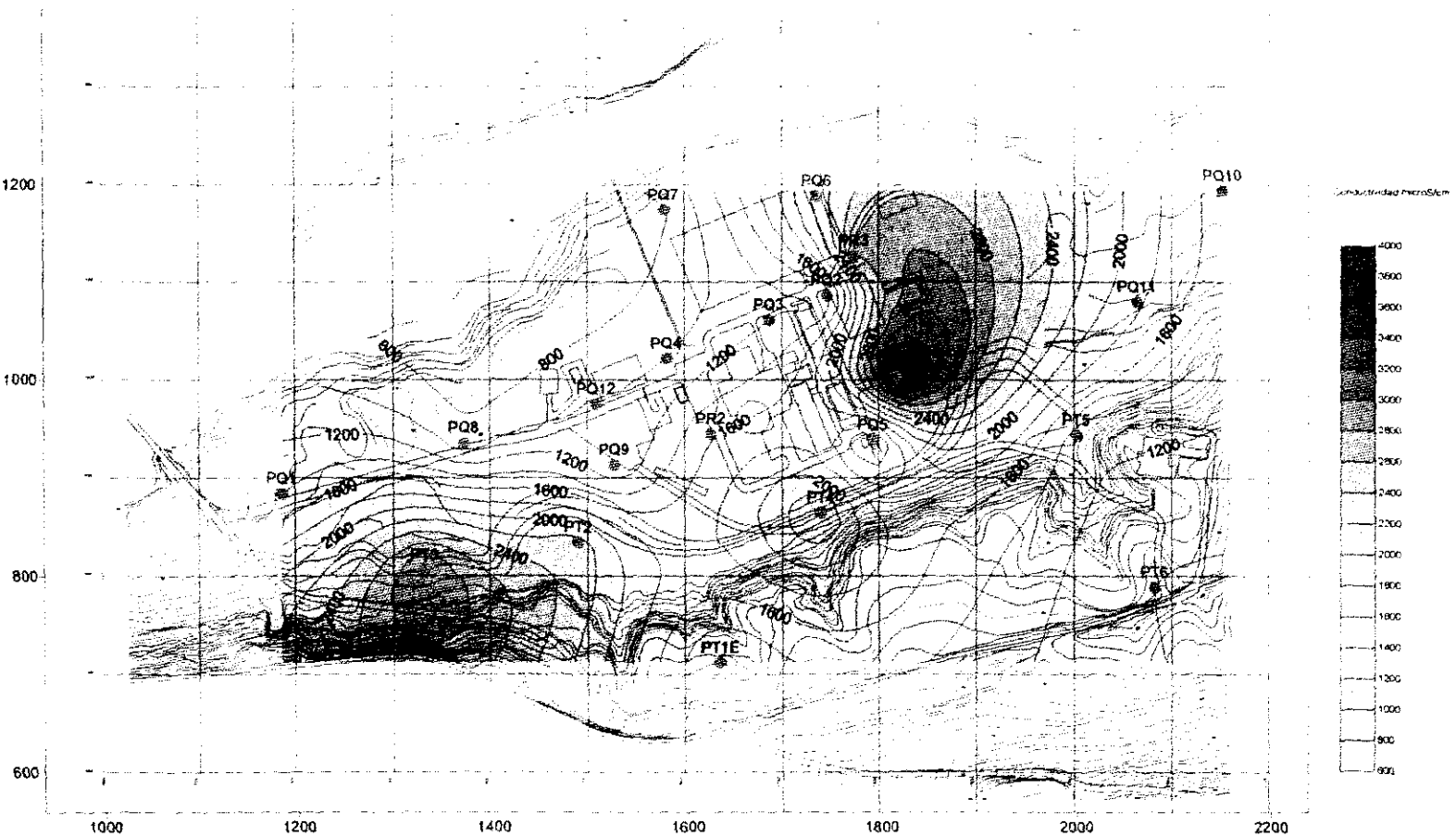




FIGURA 11.3-3. CONCENTRACION MEDIA DE CLORUROS EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.

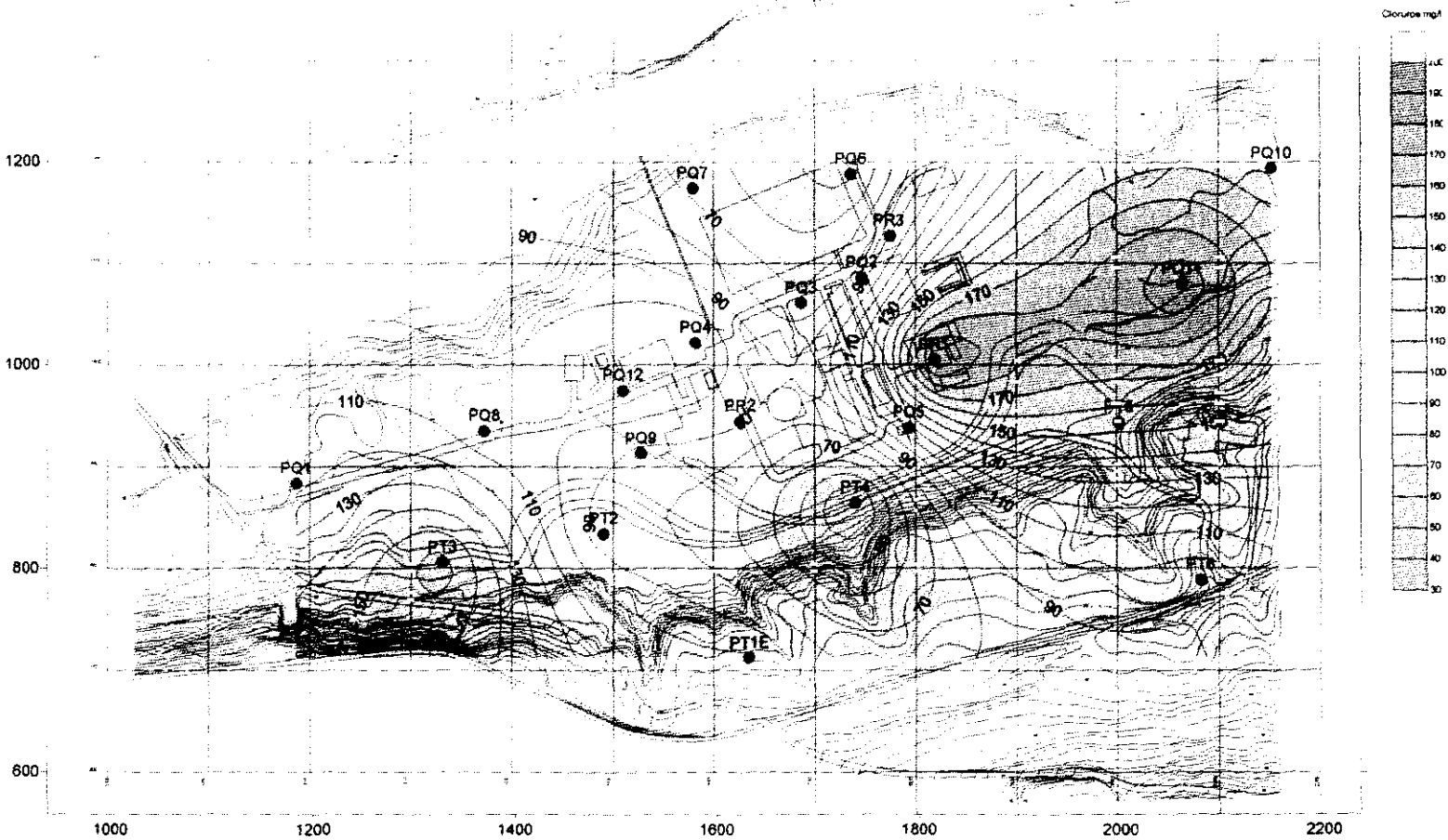


FIGURA 11.3-4. CONTENIDO MEDIO DE SULFATOS EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.

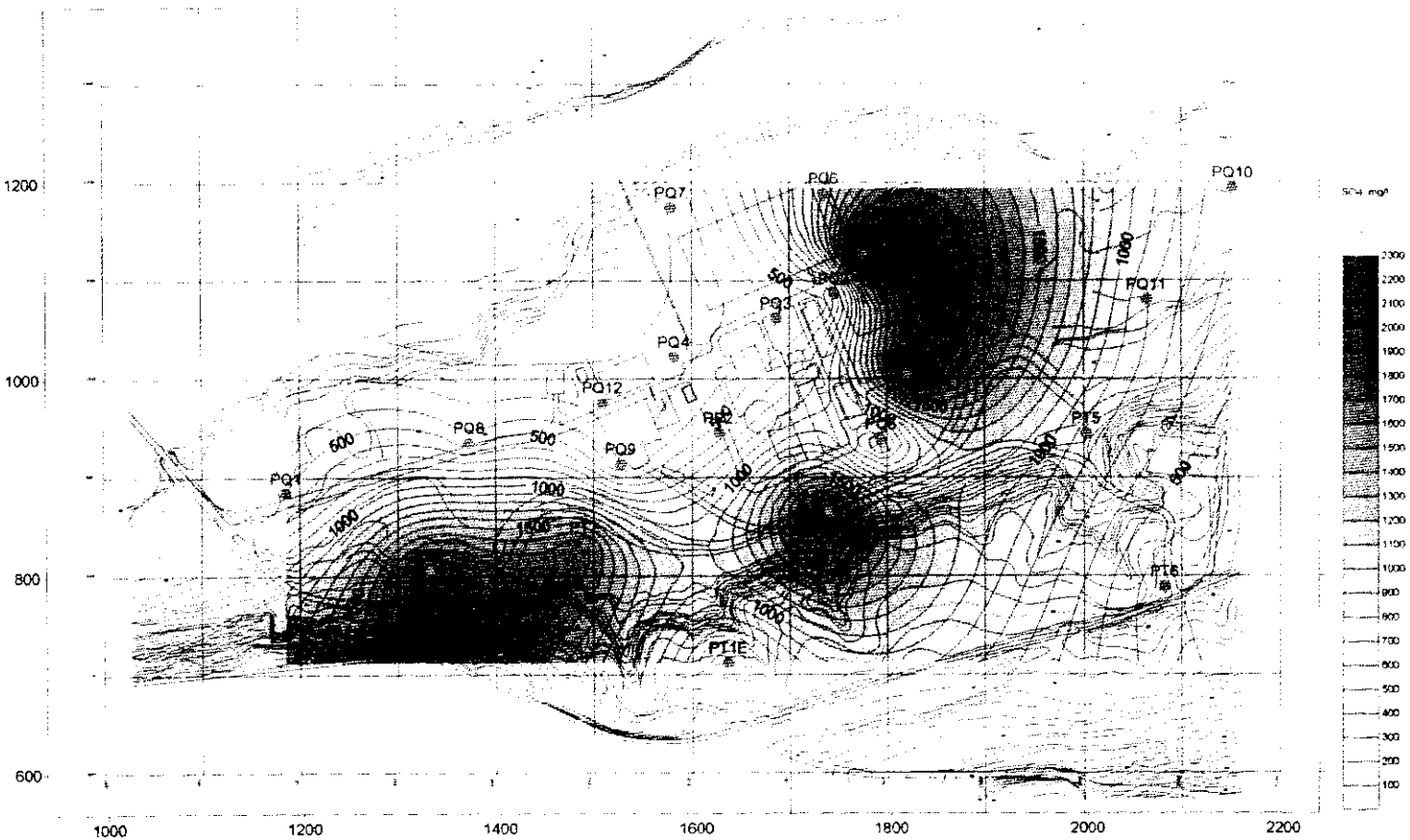


FIGURA 11.3-5. CONTENIDO MEDIO DE BICARBONATOS EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DEL A CNJC.

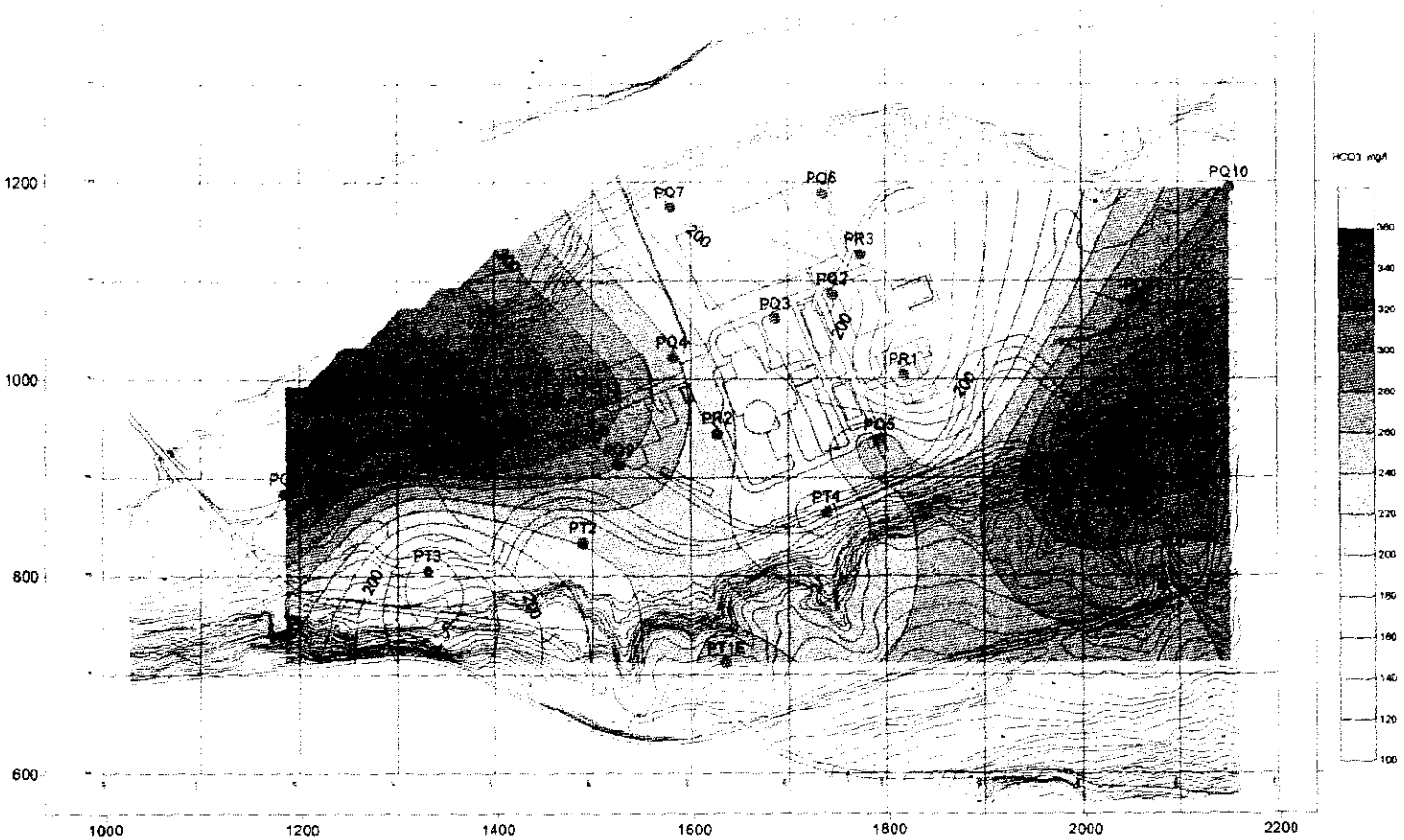


FIGURA 11.3-6. CONTENIDO MEDIO DE CALCIO EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.

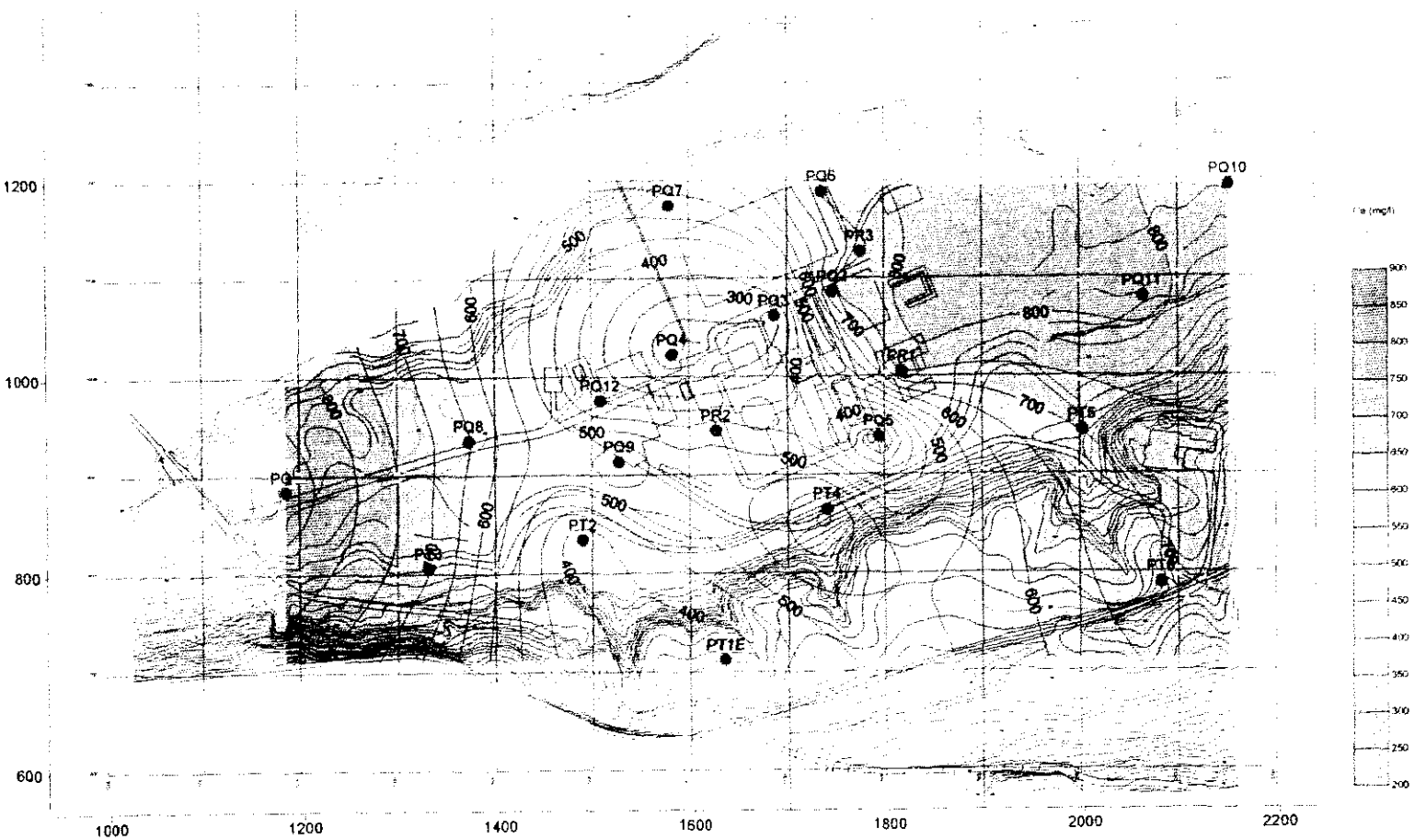


FIGURA 11.3-7. CONTENIDO MEDIO DE SODIO EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.

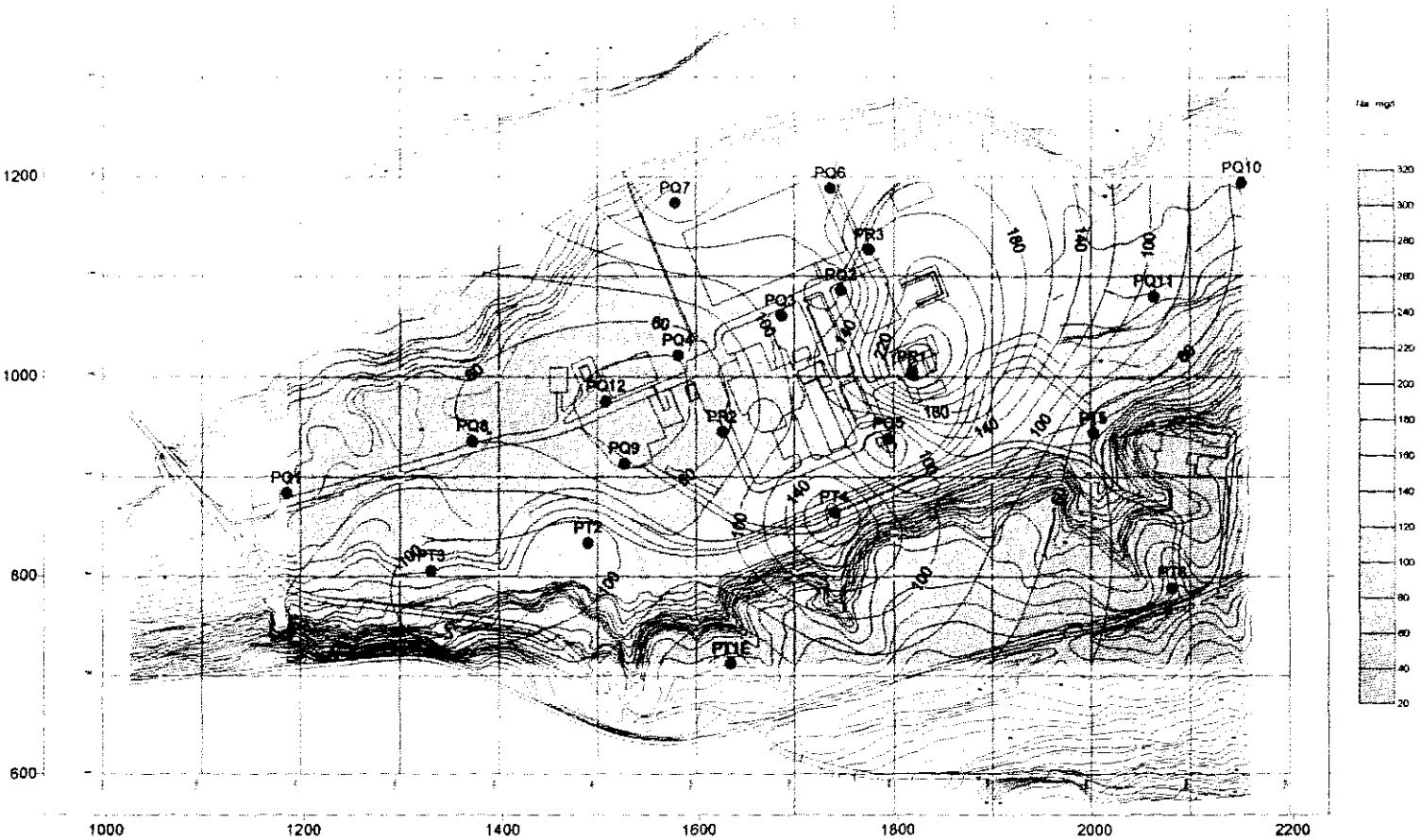


FIGURA 11.3-8. CONCENTRACION MEDIA DE POTASIO EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.

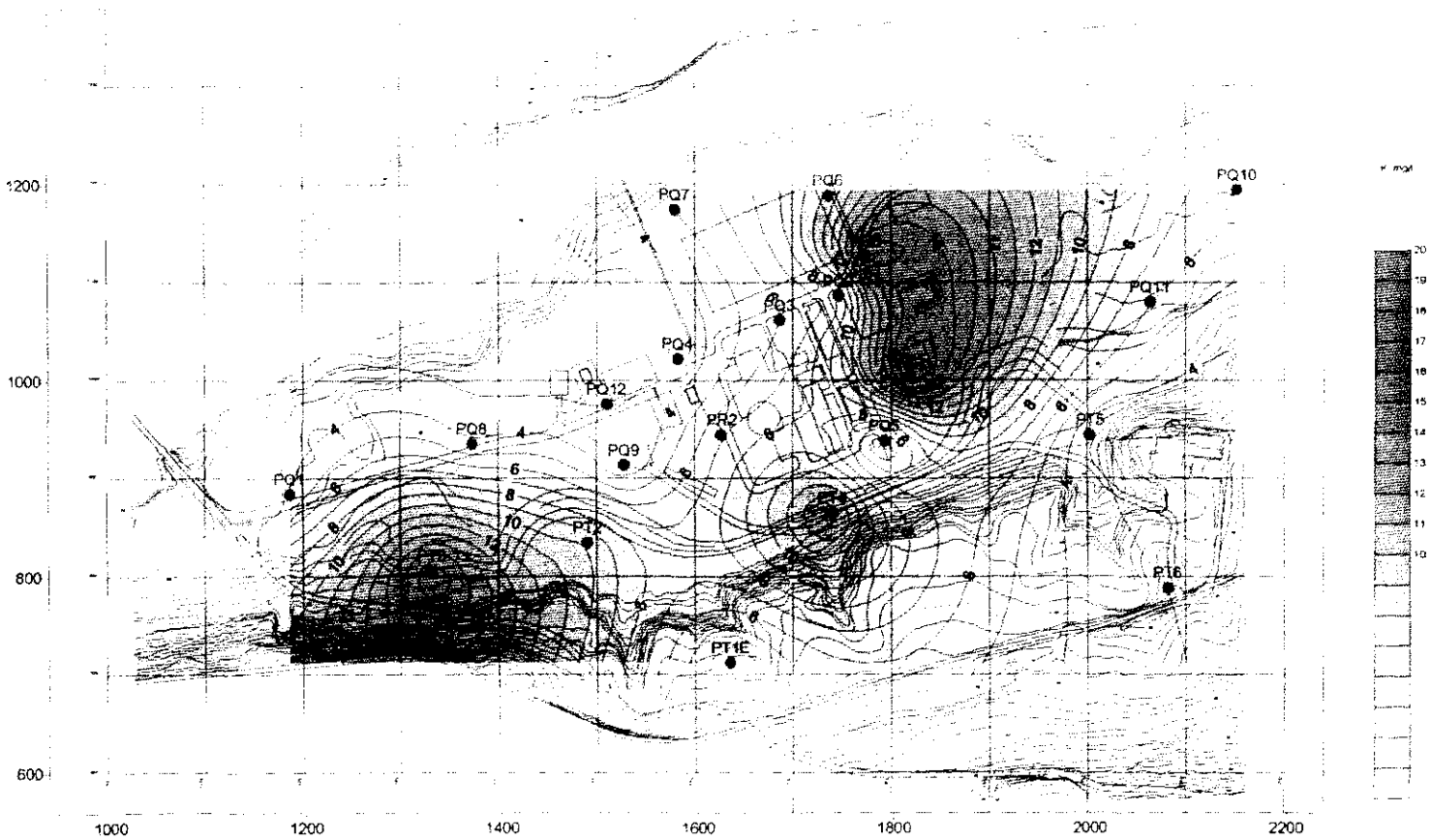


FIGURA 11.3-9. CONCENTRACION MEDIA DE SILICE EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.

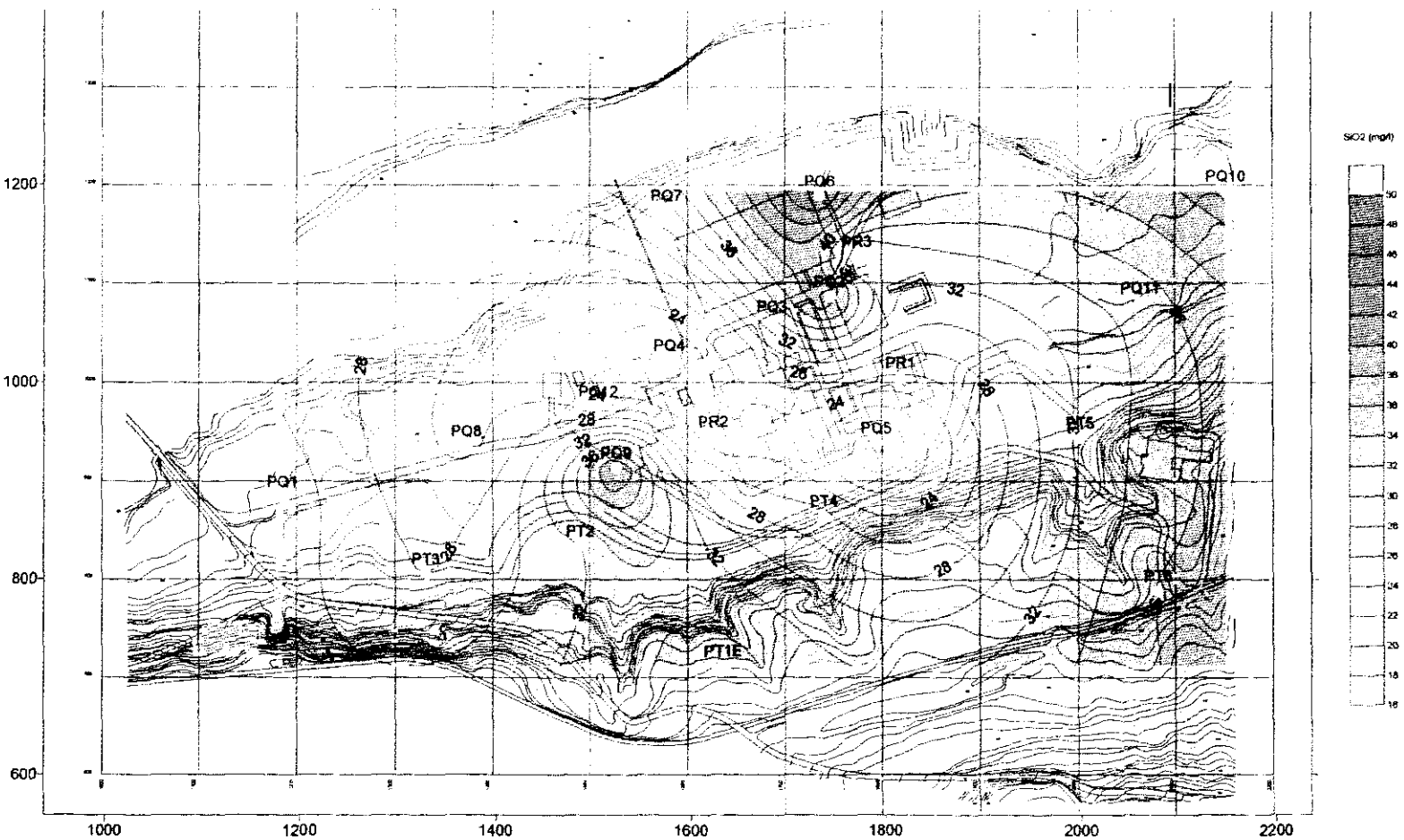


FIGURA 11.3-10. COMPOSICION QUIMICA MEDIA DE LAS AGUAS DE LOS DIFERENTES PIEZOMETROS INSTALADOS EN EL AREA DE LA CNJC.

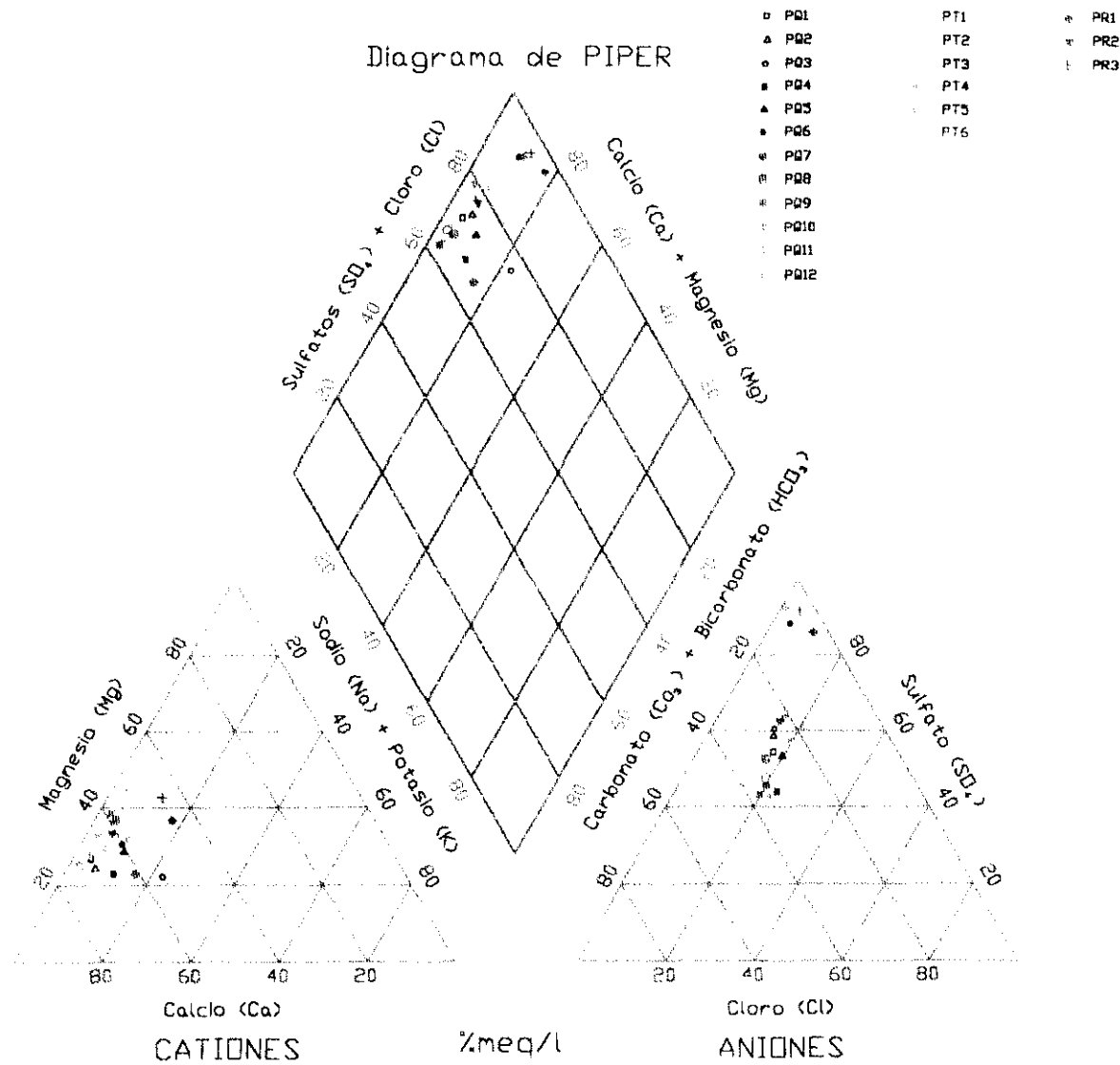
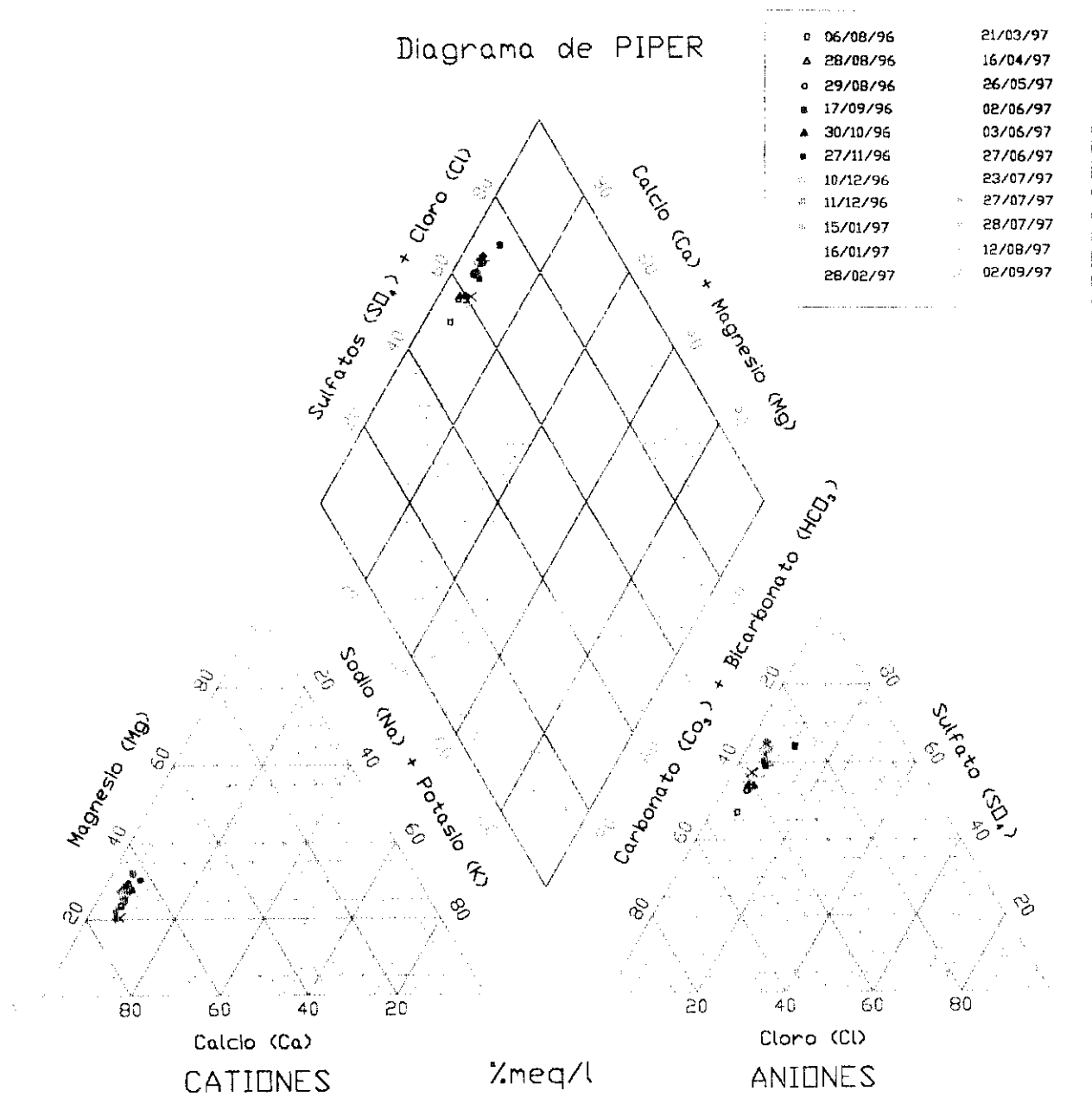




TABLA 11.3-VI. PARAMETROS QUIMICOS DEL AGUA DEL RIO TAJO  
(EMBALSE DE ZORITA) ENTRE AGOSTO/96 Y JULIO/97.

FECHA	pH	Cond( $\mu$ s/ cm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Fe (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm )	CO <sub>3</sub> H(pp m)	SiO <sub>2</sub> (ppm )	Cl (ppm)
6/08/96	7,94	754	120,5	23,25	11	1,53	0,029	185,6	250,2	4,12	18,25
28/08/96	8,04	880	122,2	32,5	10,4	1,8	0,021	246,4	240,9	4,02	17
29/08/96	7,99	840	122,7	27,6	10,3	1,8	0,023	237,2	240,9	3,9	16,5
17/09/96	8,08	790	119,4	25,2	13,1	1,8		236,3	228,8	3,9	27,7
30/10/96	8,05	909	127,74	32,21	14,6	2,1	0,056	249,48	228,75	1,7	21,25
27/11/96	8,07	890	118,24	34,64	15,4	2,2	0,04	264,68	198,25	1,59	22,5
10/12/96	8,15	948	132,3	38,5	12,7	1,9	0,033	300,6	219,6	4,25	19
11/12/96	8,16	963	142,3	33,2	13,3	2	0,037	303	219,6	4,17	19,3
15/01/97	8,12	1070	152,17	28,57	14,2	2,9	0,038	309,69	219,6	4,82	23,75
16/01/97	8,16	1083	142,96	30,51	14,5	2,93	0,036	274,98	225,7	5,2	25
28/02/97	7,93	1053	171,3	34,6	15,3	2,5	0,031	303,7	222,6	4,32	24,2
21/03/97	8,07	1140	178,9	36,3	16,2	2,5	0,034	299,1	212,3	4,51	25,1
16/04/97	8,1	738	103,2	23,2	22,4	2,4	0,025	154,5	259,25	4,1	26,3
26/05/97	8,08	1040	164,3	22,8	14,3	1,7	0,007	292,1	240,3	5,2	25
2/06/97	8,05	1040	164,3	35,4	14,2	3,5	0,43	373,1	239,1	5,25	17,9
3/06/97	8,17	1056	165,1	38,76	13,8	3,45	0,034	358,8	237,9	4,9	18
27/06/97	8,21	866	138,15	23	14,8	2,8	0,04	243,31	238,39	4,36	20
23/07/97	8,06	100	155,4	40,44	11,2	3,1	0,049	364	241,4	5,35	14,75
27/07/97	8,07	960	163,4	38,1	12	2,82	0,045	357,6	232,4	5,05	15
28/07/97	8,14	970	159,4	38	11,8	2,84	0,047	350,2	230,9	5,05	16,25
12/08/97	8,05	1037	144,3	37,3	12,4	2,8	0,026	355,7	223,4	5,31	18
2/09/97	8,14	961	134,7	23,2	14,4	2,9	0,036	284	242,8	5,03	14

FIGURA 11.3-11. COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS MUESTREADAS EN EL EMBALSE DE ZORITA ENTRE EL 06/08/96 Y EL 02/09/97.



Los bicarbonatos presentan un rango de variación más amplio, con muestras extremas entre el 25 y el 53%, pero en general con contenido comprendido entre el 30% y el 45%.

Las gráficas de las figuras 11.3-12 y 13 muestran las variaciones registradas en los cationes y aniones principales durante los diferentes muestreos.

Finalmente, con respecto a los resultados radioquímicos, en las Tablas 11.3-VII a 11.3-X, se reflejan los resultados analíticos de los muestreos y en la Tabla 11.3-XI, representa un resumen de los mismos con respecto al tritio y actividad beta total, que incluye su media y valores máximos y mínimos.

Como cabía esperar, todos los radionúclidos determinados por espectrometría gamma, presentan un resultado menor de LID.

En las figuras 11.3-14 y 15 se muestra la distribución en el acuífero. Con respecto a tritio, la mayor concentración se sitúa entorno a los piezómetros PQ2 y PQ3, con unos valores medios de  $9.4E4$  y  $7.5E4$  Bq/m<sup>3</sup>.

En cuanto a la actividad beta total, las mayores concentraciones medias aparecen en los piezómetros PR1, PR3 y PT3 con unos valores de 659, 526 y 559 Bq/m<sup>3</sup> respectivamente.

FIGURA 11.3-12. VARIACION DE LA CONCENTRACION DE LOS CATIONES PRINCIPALES EN LAS AGUAS DEL EMBALSE DE ZORITA.

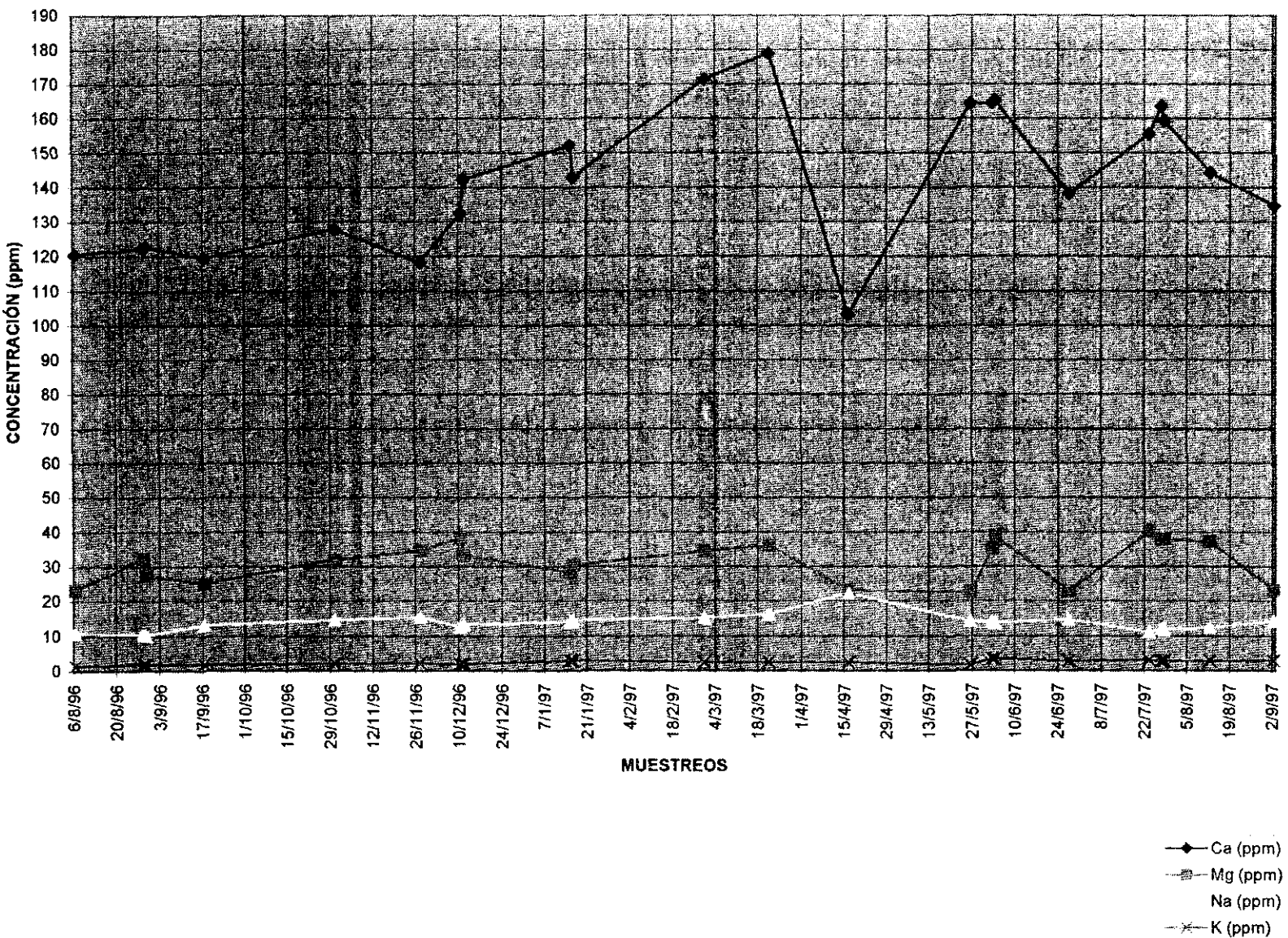


FIGURA 11.3-13. VARIACION DE LA CONCENTRACION DE LOS ANIONES PRINCIPALES EN LAS AGUAS DEL EMBALSE DE ZORITA.

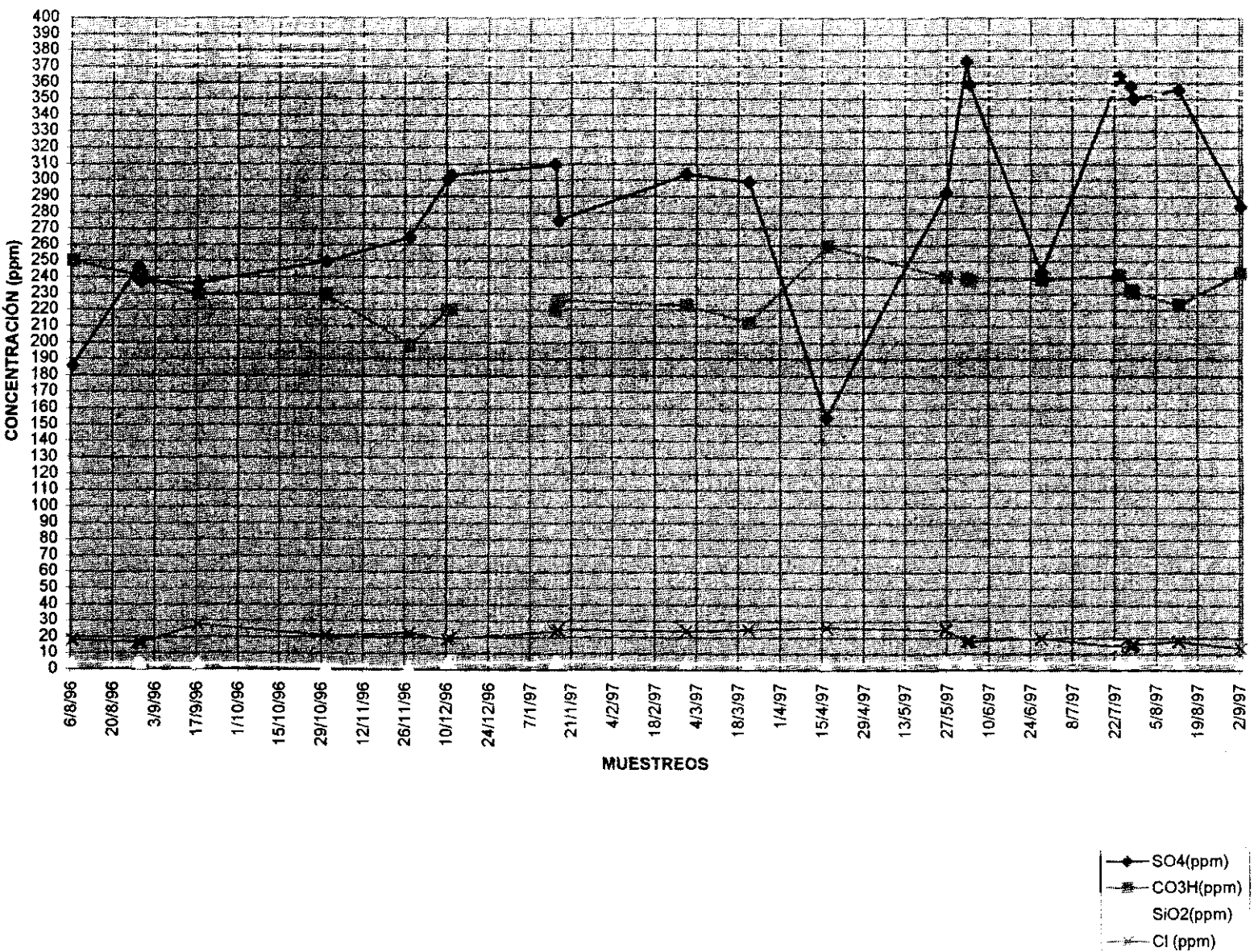


TABLA 11.3-VII. ANALISIS RADIOLOGICOS DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC PARA CONTROL INICIAL.

MUESTRA	SONDEO	Tritio Bq/m <sup>3</sup>	LID	b total	LID	b resto	LID	Espectrometría γ											
								Be <sup>7</sup>	K <sup>40</sup>	Ti <sup>208</sup>	Ac <sup>228</sup>	Pb <sup>214</sup>	Bi <sup>214</sup>	Cs <sup>134</sup>	Cs <sup>137</sup>	Co <sup>60</sup>	Co <sup>58</sup>	Cr <sup>51</sup>	I <sup>131</sup>
96120001	PQ1	21.200+2.700	4.280	255+162	56	<56	56	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
96120002	PT3	<4.240	4.240	558+213	143	<143	143	<590	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,8	<62,9	<56,9	<65	<682	<196
96120003	PQ12	36.000+2.800	4.230	127+33	24,6	34+33,4	24,6	<838	<1190	<97,8	<296	<191	<200	<94,6	<85,4	<86,5	<94,4	<906	<286
96120004	PQ5	23.800+2.700	4.220	119+20	25,8	<25,8	25,8	<1030	<1970	<117	<404	<228	<241	<119	<111	<116	<116	<1050	<331
96120005	PR1	<4.220	4.220	698+300	186	186	186	<590	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,8	<62,9	<56,9	<65	<682	<196
96120006	PR2	18.600+2.700	4.220	276+28	32,6	105+28	32,6	<598	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,8	<62,9	<57	<65,7	<699	<213
96120007	PR3	6.270+2.600	4.220	451+197	164	<164	164	<781	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<82,1	<77,6	<70,8	<82,2	<940	<382
96120008	PQ2	99.000+3.200	4.200	323+80	56,2	<56,2	56,2	<630	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,1	<62,9	<57	<68,3	<773	<301
96120009	PQ6	5.350+2.590	4.220	687+188	103	246+188	103	<741	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<81,8	<77,6	<70,7	<79	<851	<273
96120010	PQ4	26.300+2.800	4.240	377+77	27,7	260+77	27,7	<812	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<82,4	<77,7	<70,9	<84,7	<1010	<499
96120011	PQ8	23.800+2.700	4.240	159+33	56,9	<56,9	56,9	<775	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,1	<62,9	<57,4	<79,9	<1150	<1200
96120012	PQ10	13.600+2.700	4.330	182+49	55,5	<55,5	55,5	<717	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,7	<62,9	<57,2	<75,3	<992	<713
96120013	PQ11	14.700+2.700	4.310	303+80	108	<108	108	<955	<1620	<97,8	<312	<203	<212	<96,9	<91,4	<83,4	<99,6	<1190	<587
96120014	PQ3	55.000+3.000	4.330	169+50	47,2	<47,2	47,2	<812	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<82,4	<77,7	<70,9	<84,7	<1010	<499
96120015	PQ7	14.300+2.700	4.260	135+67	26,1	<26,1	26,1	<953	<1390	<83,5	<267	<173	<181	<83,8	<77,7	<71,2	<95,2	<1370	<1400
96120016	PQ9	30.300+2.800	4.260	195+17	23,5	83,7+16,5	23,5	<655	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,3	<62,9	<57,1	<70,3	<833	<390
96120017	PT2	13.500+2.700	4.260	367+138	166	<166	166	<937	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<83,2	<77,7	<71,2	<94,3	<1330	<1290
96120018	PT4	17.100+2.700	4.260	374+163	97,1	<97,1	97,1	<961	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<83,3	<77,7	<71,2	<96,1	<1400	<1530
96120019	PT5	25.700+2.700	4.230	136+44	25,3	<25,3	25,3	<773	<928	<69,8	<215	<130	<142	<68	<62,9	<57,3	<79,1	<1120	<1100
96120020	PT6	28.300+2.800	4.260	50,9+43,6	25,5	<25,5	25,5	<961	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<83,3	<77,7	<71,2	<96,1	<1400	<1530
96120021	PT1 estrado	6.030+2.620	4.260	101+47	29,6	<29,6	29,6	<775	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,1	<62,9	<57,4	<79,9	<1150	<1200
96120022	PT1 liso	6.340+2.620	4.260	113+40	28,5	<28,5	28,5	<949	<1380	<83,1	<265	<172	<180	<83,3	<77,7	<71,2	<95,2	<1370	<1400

TABLA 11.3-VIII. ANALISIS RADIOLOGICOS DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOS PIEZOMETROS DELA CNJC 2º MUESTREO (FEBRERO 1997).

MUESTRA	SONDEO	Tritio Bq/m <sup>3</sup>		LID		BTotal Bq/m <sup>3</sup>		LID		BResto Bq/m <sup>3</sup>		LID		Espectrometría γ											
													Be <sup>7</sup>	K <sup>40</sup>	Ti <sup>206</sup>	Ac <sup>228</sup>	Pb <sup>214</sup>	Bi <sup>214</sup>	Cs <sup>134</sup>	Cs <sup>137</sup>	Co <sup>60</sup>	Co <sup>58</sup>	Cr <sup>51</sup>	I <sup>131</sup>	
97020023	PQ1	25.700+2.600	3.960	132+30	47,2	<47,2	47,2	<582	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,7	<62,8	<56,9	<64,4	<665	<179						
97020024	PQ8	18.800+2.500	3.900	141+14	36,8	<36,8	36,8	<686	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,4	<77,6	<70,6	<74,5	<732	<163						
97020025	PQ12	18.300+2.600	4.010	121+11	30,6	47,1+11,2	30,6	<598	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,8	<62,9	<57	<65,7	<699	<213						
97020026	PQ9	20.300+2.500	3.900	201+22	36,9	68,5+21,9	36,9	<722	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,7	<77,6	<70,7	<77,5	<809	<230						
97020027	PT3	<3960	3.960	583+33	154	<154	154	<553	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,5	<62,8	<56,8	<91,9	<602	<127						
97020028	PT2	5.810+2.440	3.960	354+22	118	<118	118	<732	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,7	<77,6	<70,7	<78,3	<830	<250						
97020029	PT4	6.450+2.420	3.920	452+74	183	<183	183	<751	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,9	<77,6	<70,7	<79,8	<872	<297						
97020030	PQ10	14.400+2.500	3.900	209+30	58,4	<58,4	58,4	<590	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,8	<62,9	<56,9	<65	<682	<196						
97020031	PQ11	21.000+2.500	3.890	178+25	64,3	<64,3	64,3	<606	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,9	<62,9	<57	<66,3	<717	<232						
97020032	PT5	20.400+2.500	3.860	90,6+26,8	41,5	<41,5	41,5	<732	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,7	<77,6	<70,7	<78,3	<830	<250						
97020033	PT6	32.800+2.600	3.870	63,3+10,2	31,8	<31,8	31,8	<741	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,8	<77,6	<70,7	<79	<851	<273						
97020034	PT1liso	<3990	3.990	74,6+18,2	32,2	<32,2	32,2	<598	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,8	<62,9	<57	<65,7	<699	<213						
97020035	PT1estnada	4.690+2.450	3.990	82,3+26,5	31,6	<31,6	31,6	<732	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,7	<77,6	<70,7	<78,3	<830	<250						
97020036	PQ7	<3950	3.950	120+11	30,6	<30,6	30,6	<722	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,7	<77,6	<70,7	<77,5	<809	<230						
97020037	PQ4	23.600+2.600	4.000	273+29	31,6	158+29	31,6	<582	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,7	<62,8	<56,9	<64,4	<665	<179						
97020038	PR2	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)						
97020039	PQ6	<3990	3.990	406+39	96,4	<96,4	96,4	<741	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,8	<77,6	<70,7	<79	<851	<273						
97020040	PQ5	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)						
97020041	PR1	<3960	3.960	600+127	156	<156	156	<606	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,9	<62,9	<57	<66,3	<717	<232						
97020042	PR3	<3930	3.930	456+65	160	<160	160	<771	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82	<77,6	<70,8	<81,4	<917	<353						
97020043	PQ2	111.000+3.000	3.930	304+73	31,9	<31,9	31,9	<621	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67	<62,9	<57	<67,6	<754	<276						
97020044	PQ3	162.800+2.800	3.910	183+34	43,4	<43,4	43,4	<781	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,1	<77,6	<70,8	<82,2	<940	<385						
97020045	PQ5	110.200+2.500	3.950	95,6+40,7	39,1	<39,1	39,1	<630	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,1	<62,9	<57	<68,3	<773	<301						

(\*) No se ha realizado el análisis por pérdida de muestra en el transporte.

TABLA 11.3-IX. ANALISIS RADIOLOGICO DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC. 3º MUESTREO (ABRIL 1997).

MUESTRA	SONDEO	Tritio Bq/m³	LID	BTotal Bq/m³	LID	BResto Bq/m³	LID	Espectrometría γ											
								Be <sup>7</sup>	K <sup>40</sup>	Ti <sup>208</sup>	Ac <sup>228</sup>	Pb <sup>214</sup>	Bi <sup>214</sup>	Cs <sup>134</sup>	Cs <sup>137</sup>	Co <sup>60</sup>	Co <sup>58</sup>	Cr <sup>51</sup>	I <sup>131</sup>
97040046	PQ1	17.600±2.800	4.410	90.2±17.2	37,2	<37,2	37,2	<791	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,2	<77,6	<70,8	<83	<964	<420
97040047	PQ8	29.700±2.800	4.270	72,1±23,4	31,6	<31,6	31,6	<638	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,1	<62,9	<57,1	<68,9	<792	<328
97040048	PQ12	10.100±2.600	4.220	86,7±25,7	32,7	<32,7	32,7	<781	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,1	<77,6	<70,8	<82,2	<940	<385
97040049	PQ9	20.400±2.700	4.220	237±20	33,8	133±20	33,8	<1320	<1250	<103	<310	<202	<210	<102	<89,8	<90,5	<134	<2080	<4370
97040050	PT3	<4.220	4.220	565±118	193	<193	193	<655	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,3	<62,9	<57,1	<70,3	<833	<390
97040051	PT2	<4.210	4.210	440±264	130	<130	130	<630	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,1	<62,9	<57	<68,3	<773	<301
97040052	PT4	<4.200	4.200	493±44	132	<132	132	<638	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,1	<62,9	<57,1	<68,9	<792	<328
97040053	PT5	12.200±2.600	4.220	124±19	33,6	<33,6	33,6	<791	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,2	<77,6	<70,8	<83	<964	<420
97040054	PT6	12.300±2.600	4.210	65,3±17,2	34,8	<34,8	34,8	<681	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,4	<62,9	<57,2	<72,4	<898	<505
97040055	PT1iso	<4.210	4.210	54,6±25,4	37,8	<37,8	37,8	<844	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,6	<77,7	<71	<87,2	<1090	<646
97040056	PT1estriado	<4.150	4.150	50±21,7	13,4	<31,4	31,4	<866	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,7	<77,7	<71	<88,9	<1150	<767
97040057	PQ11	10.700±2.600	4.170	91,5±13,3	36,3	<36,3	36,3	<855	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,7	<77,7	<71	<88	<1120	<704
97040058	PQ11control	11.200±2.600	4.180	57±22,5	35,6	42,8±22,5	35,6	<690	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,5	<62,9	<57,2	<73,1	<920	<550
97040059	PQ10	5.520±800	4.010	190±13	45,5	<45,5	45,5	<699	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,6	<62,9	<57,2	<73,8	<944	<600
97040060	PQ4	18.100±1.600	3.950	234±22	37	161±22	37	<961	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83,8	<77,7	<71,2	<96,1	<1400	<1530
97040061	PR2	9.410±1.120	3.920	342±8	47	108±8	47	<1010	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83,7	<77,7	<17,3	<100	<1550	<2160
97040062	PQ3	123.000±3.000	4.010	128±18	31	<31	31	<1040	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83,8	<77,7	<71,4	<102	<1630	<2560
97040063	PQ2	73.500±2.600	3.910	354±37	36,3	184±37	36	<1050	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83,9	<77,7	<71,4	<103	<1670	<2800
97040064	PR3	<4.060	4.060	626±166	141	<141	141	<849	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,5	<63	<57,5	<85,5	<1370	<2190
97040065	PQ6	<3.940	3.940	450±119	82,6	<82,6	82,6	<1110	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<84,2	<77,8	<71,5	<107	<1850	<3930
97040066	PQ7	<3.950	3.950	163±27	32,3	35,6±26,5	32,3	<894	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,8	<63	<57,6	<88,9	<1520	<3090
97040067	PR1	<3.920	3.920	696±169	162	<162	162	<918	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,9	<63	<57,6	<90,7	<1600	<3670
97040068	PQ5	6.710±920	3.980	92,5±40,9	46,7	<46,7	46,7	<906	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,8	<63	<57,6	<89,8	<1560	<3360



TABLA 11.3-X. ANALISIS RADIOLOGICOS DE LAS MUESTRAS RECOGIDAS EN LOSPIEZOMETROS DE LA CNJC. 4º MUESTREO (JULIO-AGOSTO 1997).

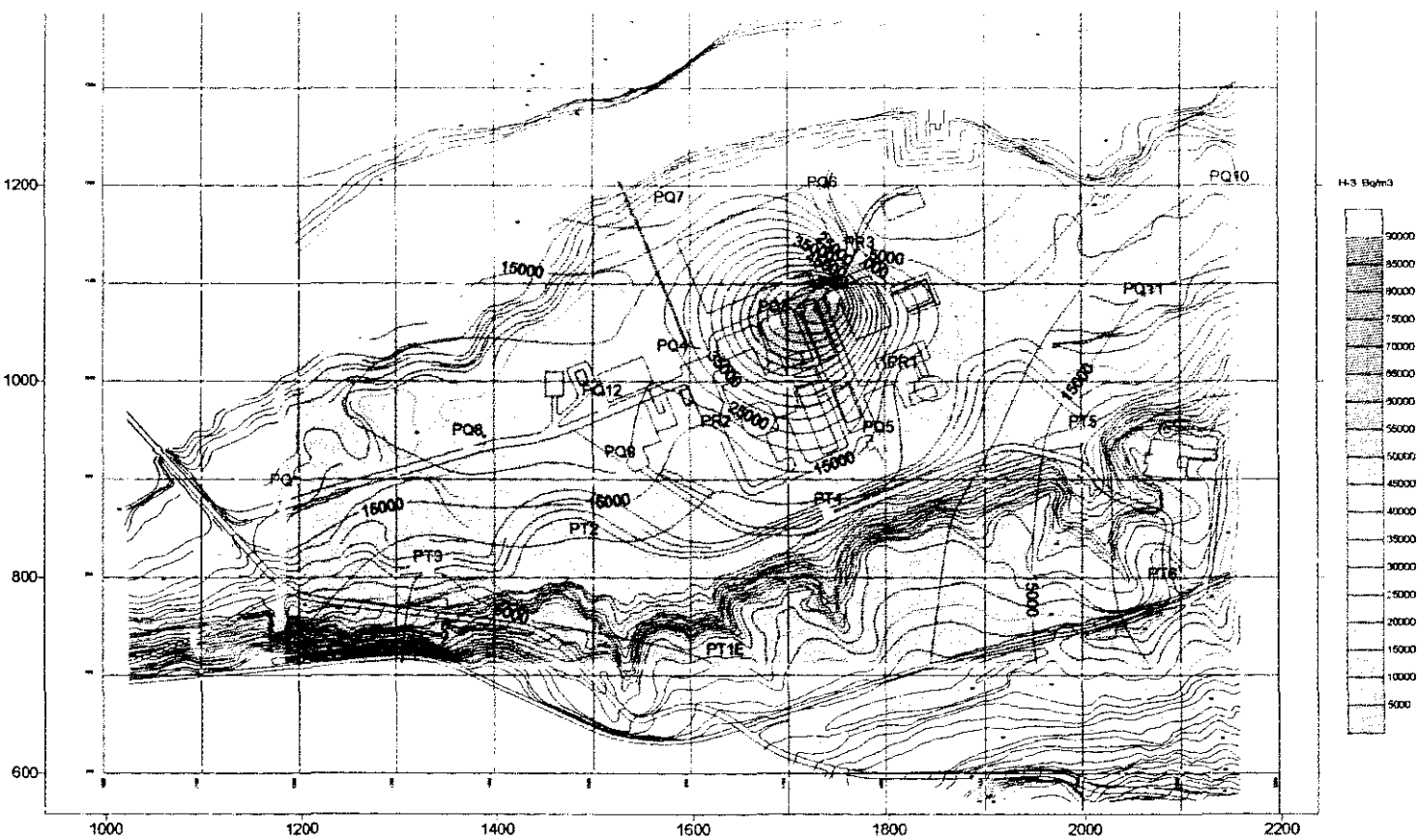
MUESTRA	SONDEO	Espectrometría γ																	
		Tritio Bq/m <sup>3</sup>	LID	Total Bq/m <sup>3</sup>	LID	BResto Bq/m <sup>3</sup>	LID	Be <sup>7</sup>	K <sup>40</sup>	Ti <sup>206</sup>	Ac <sup>228</sup>	Pb <sup>214</sup>	Bi <sup>214</sup>	Cs <sup>134</sup>	Cs <sup>137</sup>	Co <sup>60</sup>	Co <sup>58</sup>	Cr <sup>51</sup>	I <sup>131</sup>
97070069	PQ1	13.000+2.600	4.120	70,8+14,5	38,1	<38,1	38,1	<901	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83	<77,7	<71,1	<91,5	<1240	<994
97070070	PQ8	25.100+2.700	4.200	109+40	45,7	<45,7	45,7	<726	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,8	<62,9	<57,3	<76	<1020	<777
97070071	PQ12	25.300+2.700	4.110	86,6+29,3	32,5	<32,5	32,5	<889	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,9	<77,7	<71,1	<90,7	<1210	<912
97070072	PQ9	13.500+2.600	4.190	236+23	45,4	103+23	45,4	<913	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83	<77,7	<71,1	<92,4	<1270	<1080
97070073	PT3	<4.010	4.010	530+183	225	<225	225	<987	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83,5	<77,7	<71,3	<98	<1470	<1820
97070074	PT2	11.700+2.500	4.010	258+80	96,7	<96,7	96,7	<796	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,2	<62,9	<57,4	<81,4	<1210	<1420
97070075	PT4	<4.010	4.010	592+66	186	<186	186	<1040	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83,8	<77,7	<71,4	<102	<1630	<2560
97070076	PT5	18.800+2.600	4.090	103+34	38,5	<38,5	38,5	<838	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,4	<63	<57,5	<84,7	<1340	<2000
97070077	PT6	16.900+2.600	4.070	61,7+27,7	37,9	<37,9	37,9	<1140	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<84,3	<77,8	<71,5	<109	<1940	<4690
97070078	PT1liso	5.140+2.500	4.070	71,2+18,4	32,5	<32,5	32,5	<1040	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<83,8	<77,7	<71,4	<102	<1630	<2560
97070079	PT1estriado	<4.050	4.050	119+46	49,2	<49,2	49,2	<871	<919	<69,1	<213	<129	<140	<68,6	<63	<57,6	<87,2	<1440	<2600
97080080	PQ11	17.500+2.700	4.200	182+41	63,6	<63,6	63,6	<632	<940	<67,8	<213	<122	<138	<68,3	<60,5	<56,6	<69	<774	<345
97080081	PQ10	11.100+2.500	4.020	92,3+14,5	31,5	<31,5	31,5	<695	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,4	<77,6	<70,6	<75,3	<751	<177
97080082	PQ7	<4180	4.180	157+56	30,9	<30,9	30,9	<582	<919	<69,1	<213	<129	<140	<66,7	<62,8	<56,9	<64,4	<665	<179
97080083	PQ4	17.200+2.700	4.230	272+21	32,4	159+21	32,4	<732	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<81,7	<77,6	<70,7	<78,3	<830	<250
97080084	PQ3	61.300+2.900	4.070	162+17	38,8	<38,8	38,8	<663	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,3	<62,9	<57,1	<71	<854	<425
97080085	PR1	<4050	4.050	640+127	224	501+127	224	<822	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,4	<77,7	<70,9	<85,5	<1040	<544
97080086	PR1control	<4110	4.110	666+117	162,0	<162	162	<833	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,5	<77,7	<70,9	<86,3	<1070	<592
97080087	PR2	5.330+2.500	4.070	310+21	47,4	66,3+20,6	47,4	<672	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,4	<62,9	<57,1	<71,7	<876	<463
97080088	PQ5	13.600+2.500	4.030	84,1+29,5	31,7	<31,7	31,7	<866	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,7	<77,7	<71	<88,9	<1150	<767
97080089	PQ6	<4050	4.050	345+26	77,6	<77,6	77,6	<878	<1310	<83,1	<261	<172	<173	<82,8	<77,7	<71	<89,8	<1180	<836
97080090	PR3	<4110	4.110	572+74	182	<182	182	<699	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,6	<62,9	<57,2	<73,8	<944	<600
97080091	PQ2	96.300+3100	4.000	405+13	30,8	144+13	30,8	<690	<919	<69,1	<213	<129	<140	<67,5	<62,9	<57,2	<73,1	<920	<550

TABLA 11.3-XI. TABLA RESUMEN CON LAS CONCENTRACIONES DE TRITIO Y  $\beta$  TOTAL OBTENIDAS EN LOS 4 MUESTREOS.

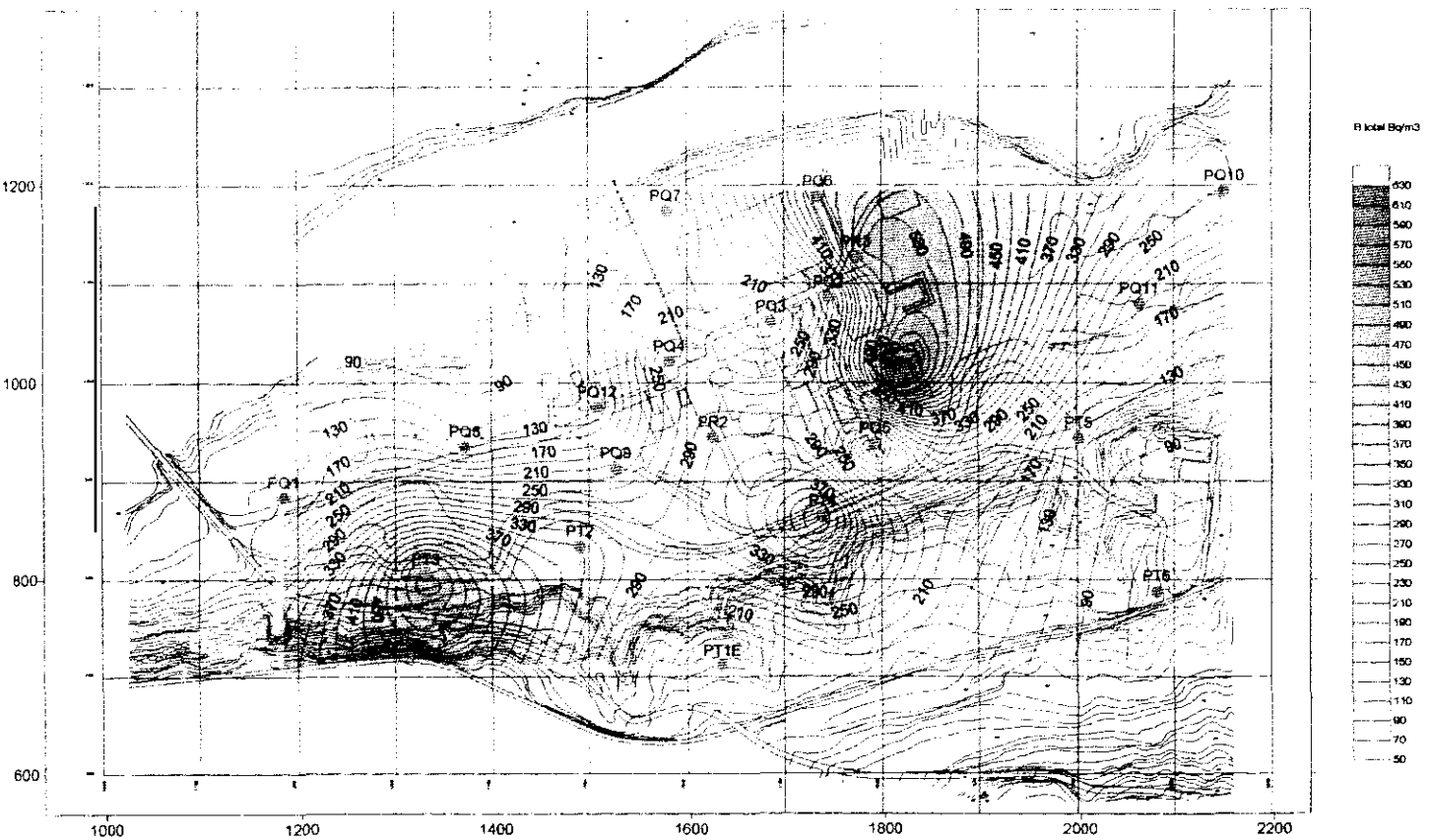
Tritio Bq/m <sup>3</sup>							
SONDEO	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	MEDIA	MAX	MIN
PQ1	21.200	25.700	17.600	13.000	19.375	25.700	13.000
PQ10	13.600	14.400	5.520	11.100	11.155	14.400	5.520
PQ11	14.700	21.000	10.700	17.500	15.975	21.000	10.700
PQ12	36.000	18.300	10.100	25.300	22.425	36.000	10.100
PQ2	99.000	111.000	73.500	96.300	94.950	111.000	73.500
PQ3	55.000	62.800	123.000	61.300	75.525	123.000	55.000
PQ4	26.300	23.600	18.100	17.200	21.300	26.300	17.200
PQ5	23.800	10.200	6.710	13.600	13.578	23.800	6.710
PQ6	5.350	3.990	3.940	4.050	4.333	5.350	3.940
PQ7	14.300	3.950	3.950	4.180	6.595	14.300	3.950
PQ8	23.800	18.800	29.700	25.100	24.350	29.700	18.800
PQ9	30.300	20.300	20.400	13.500	21.125	30.300	13.500
PR1	4.220	3.960	3.920	4.050	4.038	4.220	3.920
PR2	18.600	(*)	9.410	5.330	11.113	18.600	5.330
PR3	6.270	3.930	4.060	4.110	4.593	6.270	3.930
PT1 liso	6.340	4.690	4.150	5.140	5.080	6.340	4.150
PT1 estriado	6.030	3.990	4.210	4.050	4.570	6.030	3.990
PT2	13.500	5.810	4.210	11.700	8.805	13.500	4.210
PT3	4.240	3.960	4.220	4.010	4.108	4.240	3.960
PT4	17.100	6.450	4.200	4.010	7.940	17.100	4.010
PT5	25.700	20.400	12.200	18.800	19.275	25.700	12.200
PT6	28.300	32.800	12.300	16.900	22.575	32.800	12.300

$\beta$ total Bq/m <sup>3</sup>							
SONDEO	1º muestreo	2º muestreo	3º muestreo	4º muestreo	MEDIA	MAX	MIN
PQ1	255	132	90,2	70,8	137	255	71
PQ10	182	209	190	405	247	405	182
PQ11	303	178	91,5	182	189	303	92
PQ12	127	121	86,7	86,6	105	127	87
PQ2	323	304	354	95,6	269	354	96
PQ3	169	183	128	162	161	183	128
PQ4	377	273	234	272	289	377	234
PQ5	119	95,6	92,5	84,1	98	119	84
PQ6	687	406	450	345	472	687	345
PQ7	135	120	163	157	144	163	120
PQ8	159	141	72,1	109	120	159	72
PQ9	195	201	237	236	217	237	195
PR1	698	600	696	640	659	698	600
PR2	276		342	310	309	342	276
PR3	451	456	626	572	526	626	451
PT1 liso	113	82,3	50	71,2	79	113	50
PT1 estriado	101	74,6	54,6	119	87	119	55
PT2	367	354	440	258	355	440	258
PT3	558	583	565	530	559	583	530
PT4	374	452	493	592	478	592	374
PT5	136	90,6	124	103	113	136	91
PT6	50,9	63,3	65,3	61,7	60	65	51

FIGURA 11.3-14. CONCENTRACION MEDIA DE TRITIO EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.



**FIGURA 11.3-15. CONCENTRACION MEDIA DE  $\beta$  TOTAL EN LAS AGUAS DE LOS PIEZOMETROS DE LA CNJC.**



La actividad de las aguas superficiales se determina dentro del Plan de Vigilancia Radiológica del Medio Ambiente (PVRMA) de la C.N.J.C. En concreto se muestra en las estaciones de,

- i) Pié de presa de Almoguera.
- ii) Central Hidráulica de Zorita.
- iii) Pié de presa de Bolarque.

En las estaciones ii) e iii) el muestreo es proporcional continuo y en la i) con frecuencia mensual. Los análisis son los mismos que en los piezómetros. En las figuras 11-3-16 a 18, se reflejan los resultados en dichas estaciones correspondientes a los cinco últimos años.

FIGURA 11.3-16. ACTIVIDAD BETA TOTAL EN AGUAS SUPERFICIALES.

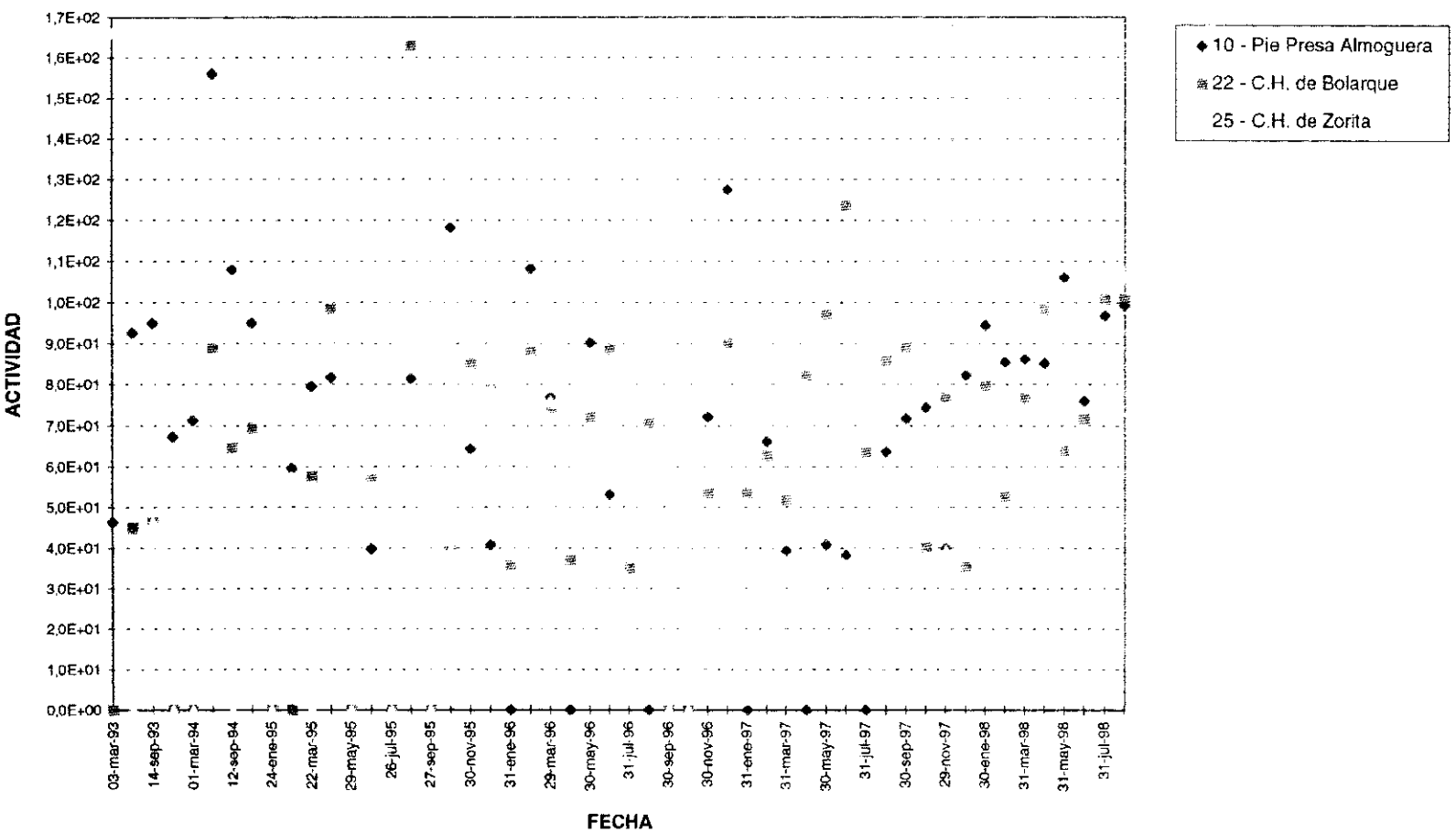


FIGURA 11.3-17. ACTIVIDAD BETA RESTO EN AGUAS SUPERFICIALES.

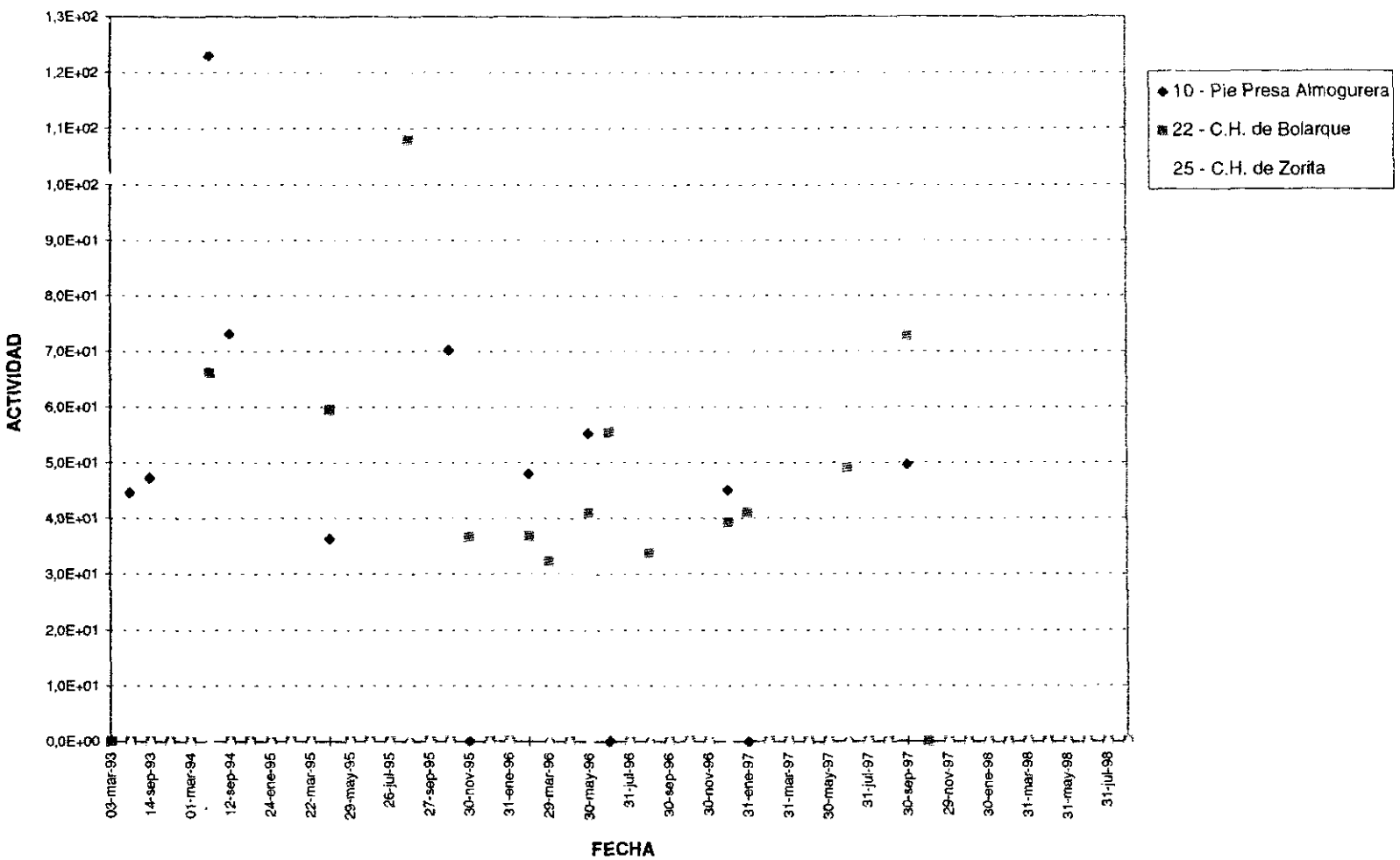
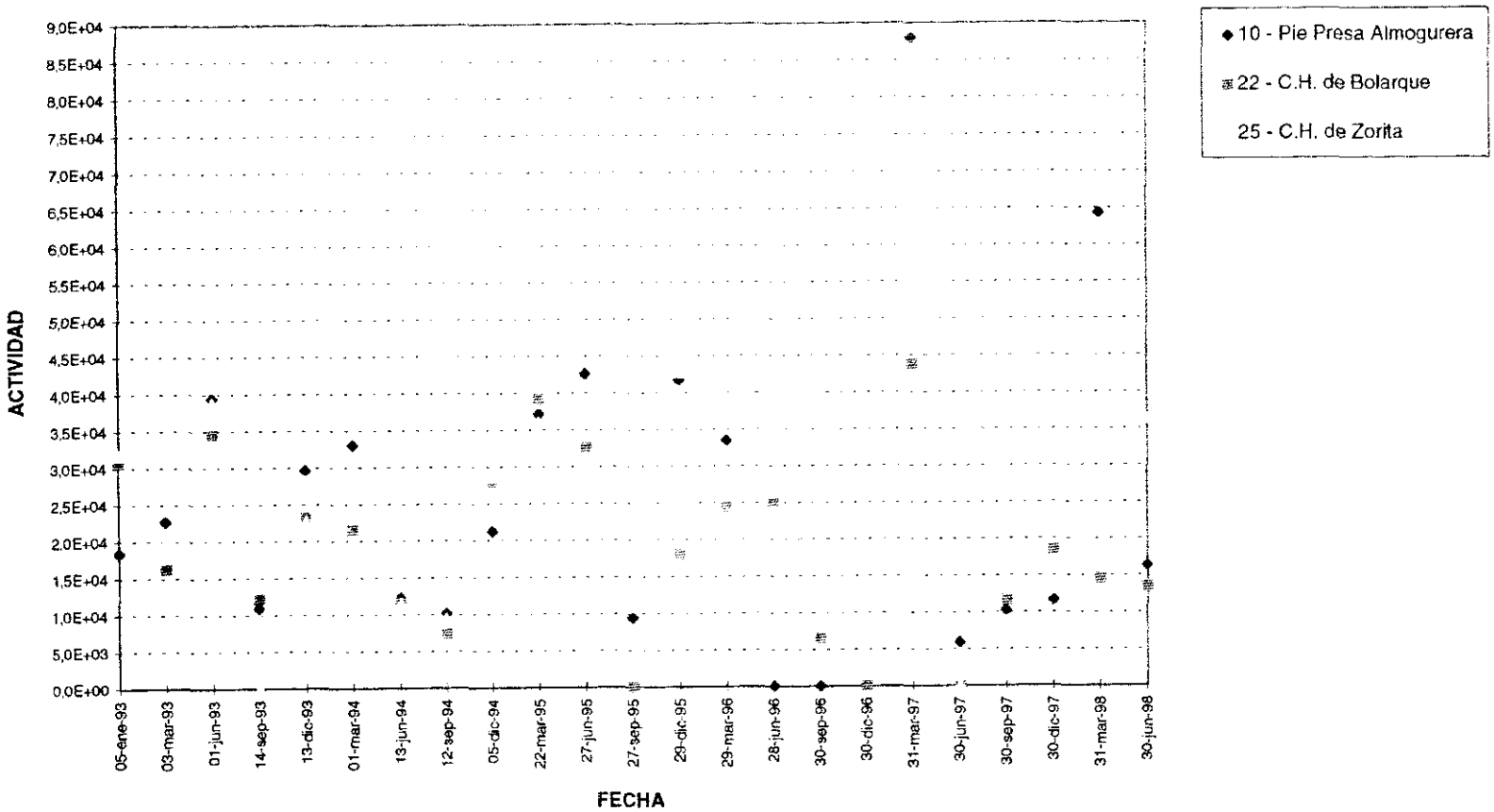


FIGURA 11.3-18. ACTIVIDAD DE H-3 EN AGUAS SUPERFICIALES.





**11.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.**

Para completar el modelo hidrogeológico de la C.N.J.C. y contrastar las conclusiones obtenidas, se llevó a cabo un análisis estadístico en profundidad de la química de los piezómetros, relacionándose entre sí, con su situación geográfica y con las características geológicas e hidrogeológicas de los materiales en que se asientan. Se estudiaron también las posibles semejanzas y diferencias entre estos resultados químicos y el comportamiento del Río Tajo en el embalse de Zorita, analizándose su composición química en relación con el origen del agua, evaluando separadamente la cantidad de agua turbinada por los embalses situados aguas arriba de la CNJC. En el anexo 11.4 se adjunta dicho análisis estadístico.

---

## 12 *MODELO CONCEPTUAL DEL ACUIFERO DE LA CNJC*

---

### 12.1. ZONA MODELIZADA.

El modelo conceptual comprende la subcuenca hidrográfica de la zona de la CNJC, desde la divisoria de aguas local hasta el río Tajo, en una franja que abarca desde la presa del embalse de Zorita hasta unos 400 m aguas arriba de la Central. Esta subcuenca está representada en la figura 12.1-1.

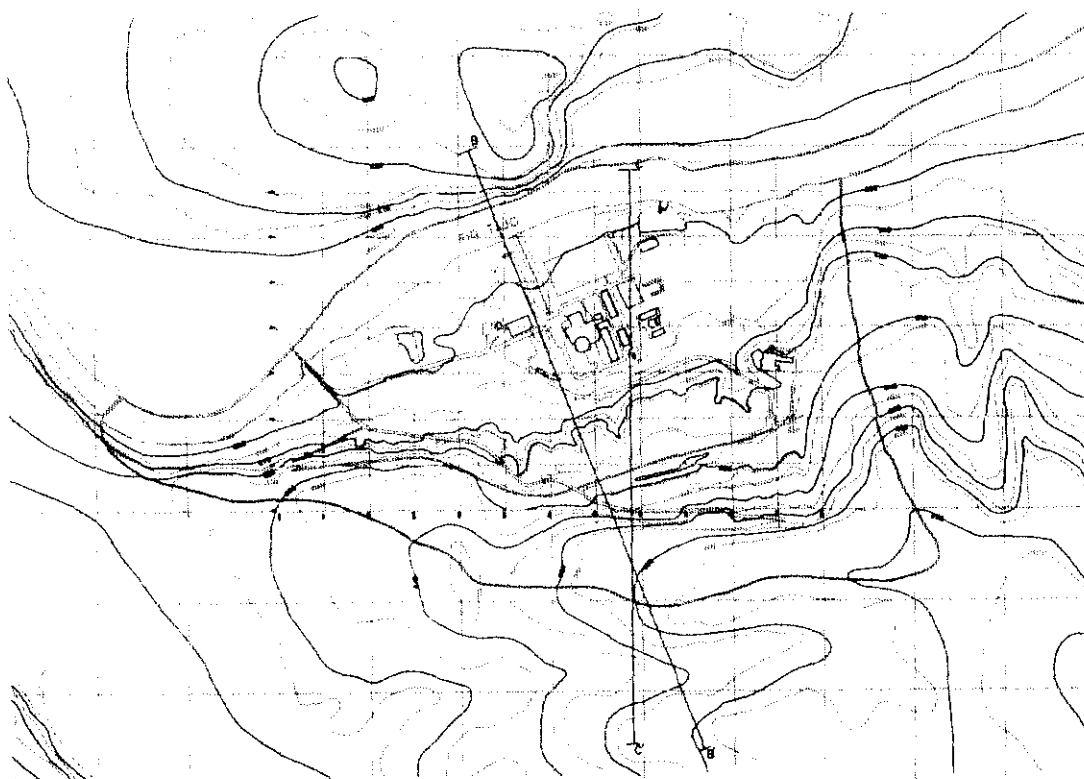


Figura 12.1-1. Zona Modelizada.

## **12.2. MATERIALES ANALIZADOS SUSCEPTIBLES DE CONTENER AGUA.**

La zona de estudio está constituida por una base de terrenos terciarios poco permeables sobre los que se han emplazado depósitos detríticos cuaternarios de diferente naturaleza:

- Terrazas aluviales.
- Depósitos coluvionares.

Las terrazas aluviales son los depósitos originados por la evolución del río Tajo en la zona. Se han identificado hasta 4 niveles de terraza diferentes pero en el área de la subcuenca hidrográfica de estudio sólo aparecen 3 de estos niveles:

- 1ª Terraza o terraza inferior, que es la actual del río.
- 2ª Terraza o terraza principal. Es el depósito abandonado por el río sobre el cual se ubica la CNJC.
- 3ª Terraza, depósito antiguo que tras los procesos de erosión sufridos se encuentra aislada sobre la ladera de materiales terciarios.

Todos estos materiales en ocasiones aparecen modificados en superficie por la actividad antrópica: removilizaciones, rellenos, construcciones, pavimentos,....

Por tanto, los materiales cartografiados en el área, susceptibles de albergar agua son los siguientes:

- |  |                |
|--|----------------|
| • Nivel antrópico:                             | Acuífero nº 1. |
| • Cuaternario: terraza aluvial:                | Acuífero nº 2. |
| • Cuaternario: terrazas colgadas y coluviones: | Acuífero nº 3. |
| • Terciario:                                   | Acuífero nº 4. |

A continuación y de acuerdo con los datos obtenidos a lo largo de toda la investigación, se describe el comportamiento hidrológico de cada uno de los sistemas y su relación con los demás.

### **12.2.1. NIVEL ANTROPICO. ACUÍFERO Nº 1.**

Sobre el depósito aluvial se identifica una capa de suelo superficial antropizado, constituido por rellenos y materiales con su estructura natural alterada, que ocasionalmente se encuentra "impermeabilizado" en superficie, debido a las construcciones de la Central y a las zonas asfaltadas existentes: aparcamiento y carreteras de servicio dentro y fuera del recinto.

Igualmente, la cimentación de los edificios y estructuras de la Central Nuclear, se empotran en el depósito Cuaternario y actúan como barreras que modifican el flujo natural del agua subterránea.

A esta capa de suelo artificial antropizado se le atribuyen los siguientes parámetros hidrogeológicos básicos:

- Permeabilidad:  $10^2 - 5 \times 10^2$  m/día.
- Transmisividad:  $4 \times 10^2 - 2 \times 10^4$  m<sup>2</sup>/día.
- Coeficiente de almacenamiento:  $2 - 3 \times 10^{-1}$ .

#### **12.2.2. CUATERNARIO: TERRAZA ALUVIAL. ACUÍFERO N° 2.**

##### **Afloramiento:**

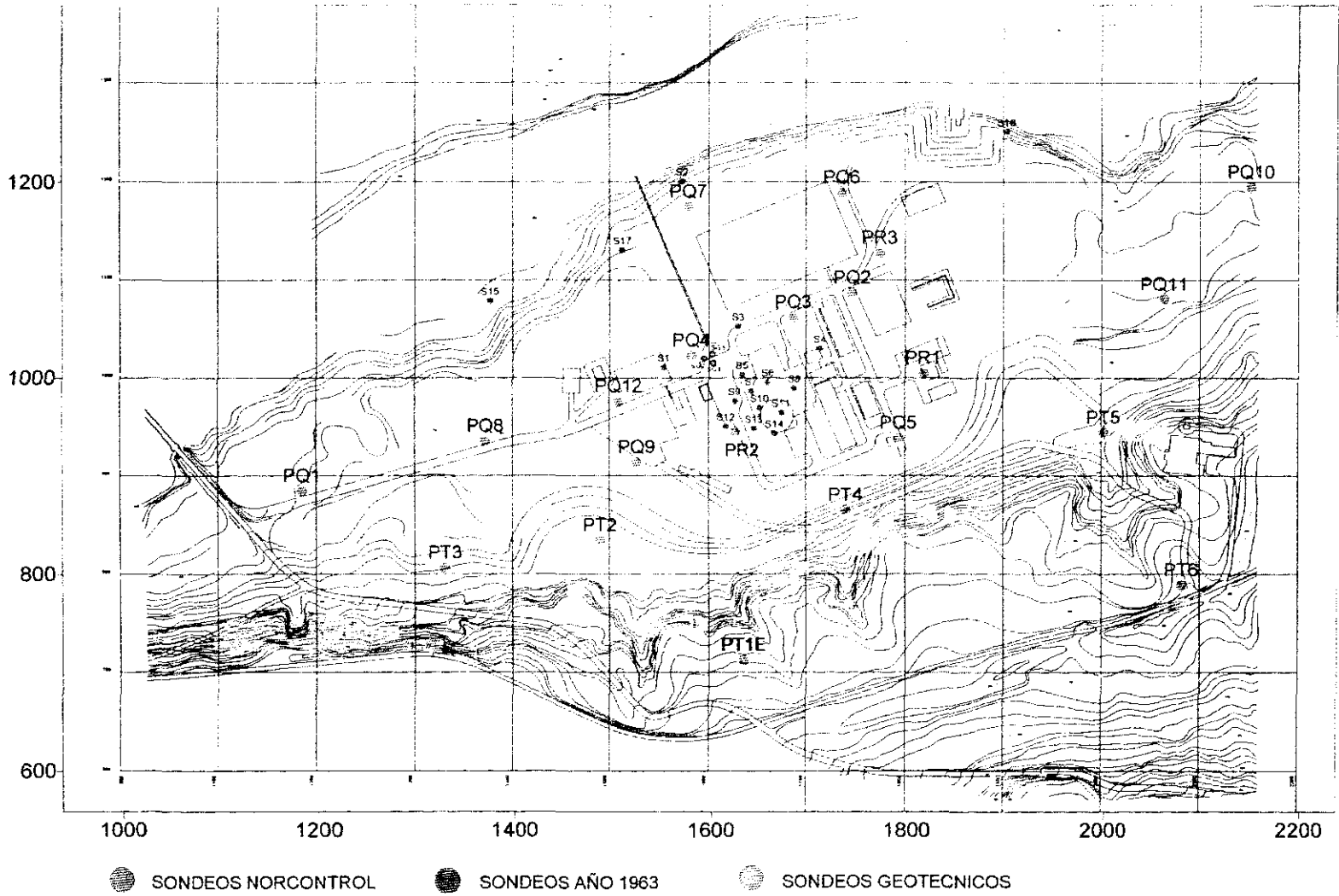
Se trata de una zona de terraza aluvial de entre 250 y 230 m. de ancho, y de 1.700 m de largo, que en el área de posible influencia de la Central no supera los 9 m de espesor. (Ver cartografía geológica escalas 1:25.000 y 1:1.000 en los Anexos 2-1 y 2-2).

Esta terraza limita al N con el río Tajo, sobre el cual se cierre en su extremo O en la zona de la presa de Zorita. El Sur está limitado por las formaciones Terciarias y en su extremo E, aguas arriba, este depósito se extiende hasta el embalse de Bolarque.

Para este estudio se han realizado 15 sondeos que atraviesan la terraza aluvial y tienen las siguientes características: (véase figura 12.2.2-1).

Sondeo	Longitud	Espesor Terraza	Prof. Nivel freático	Cota nivel freático
PQ1	10,5 m	6 m	3,56 m	600,651 m
PQ2	9 m	6,6 m	5,01 m	600,258 m
PQ3	10 m	6 m	4,04 m	600,172 m
PQ4	10 m	7,8 m	4,69 m	600,094 m
PQ5	10 m	6,6 m	3,58 m	600,542 m
PQ6	10 m	6,1 m	4,71 m	600,122 m
PQ7	10 m	4,8 m	3,97 m	600,013 m
PQ8	10 m	7,2 m	5,26 m	600,230 m
PQ9	10 m	8,1 m	5,72 m	600,305 m
PQ10	10 m	6,7 m	5,55 m	600,365 m
PQ11	10 m	8,4 m	6,55 m	600,391 m
PQ12	10 m	7,0 m	5,39 m	600,228 m
PR1	70 m	9,1 m	4,31 m	600,520 m
PR2	51 m	7,65 m	3,97 m	600,287 m
PR3	48 m	7,2 m	5,22 m	600,295 m

Figura 12.2.2-1. Localización de los Sondeos.



Además se dispone de información de otros sondeos realizados en estudios previos como son los siguientes:

**Sondeos realizados durante el estudio Geotécnico de Marzo de 1994.**

Sondeo	Longitud	Espesor terraza	Nivel freático
Sondeo 1	15 m	7,4 m	4 m
Sondeo 2	15 m	8,4 m	4 m
Sondeo 3	15 m	6 m	4 m

**Sondeos de la primera campaña de investigación, realizada en 1963:**

Sondeo	Profundidad	Espesor Terraza	Cota nivel freático
Sondeo nº 1	40,20 m	8,95 m	599,81 m
Sondeo nº 2	40,55 m	6,75 m	600,02 m
Sondeo nº 3	40,40 m	7,50 m	599,74 m
Sondeo nº 4	40,60 m	6,30 m	---
Sondeo nº 5	40,15 m	6,70 m	---
Sondeo nº 6	40,50 m	6,70 m	---
Sondeo nº 7	40,10 m	6,55 m	---
Sondeo nº 8	40,40 m	6,75 m	---
Sondeo nº 9	40,45 m	6,90 m	---
Sondeo nº 10	60,35 m	6,80 m	599,87 m
Sondeo nº 11	40,20 m	7,65 m	600,23 m
Sondeo nº 12	40,70 m	7,40 m	---
Sondeo nº 13	40,50 m	7,75 m	599,93 m
Sondeo nº 14	40,50 m	7,30 m	600,29 m
Sondeo nº 15	20,15 m	5,53 m	600,19 m
Sondeo nº 16	20,40 m	10,20 m	---
Sondeo nº 17	40,6 m	5,25 m	---

La localización de cada uno de estos sondeos se observa también en la figura 12.2.2-1.

### **Descripción de materiales:**

Está constituida por gravas, arenas de granulometría fina y limos en una proporción que varía de unos puntos a otros. (véase figura 12.2.2-2).



**Figura 12.2.2-2. Corte de los materiales de la terraza aluvial.**

La columna tipo de los materiales que constituyen la terraza aluvial de techo a muro, es la siguiente:

- Un nivel superficial formado por arena y suelo vegetal más o menos antropizado, jardines o en su caso un nivel fino de relleno y asfalto.
- Debajo, un nivel de materiales finos constituidos principalmente por arenas y limos de color marrón, con una potencia que puede variar entre 30 cm y 1,20 m, según las zonas. Este nivel puede no aparecer en algunos puntos.
- Nivel de arenas bien clasificadas con escasos finos, en los que se pueden distinguir diversas estructuras sedimentarias (barras arenosas, laminaciones cruzadas,...) La potencia de este nivel puede variar entre 1 y 4 m.



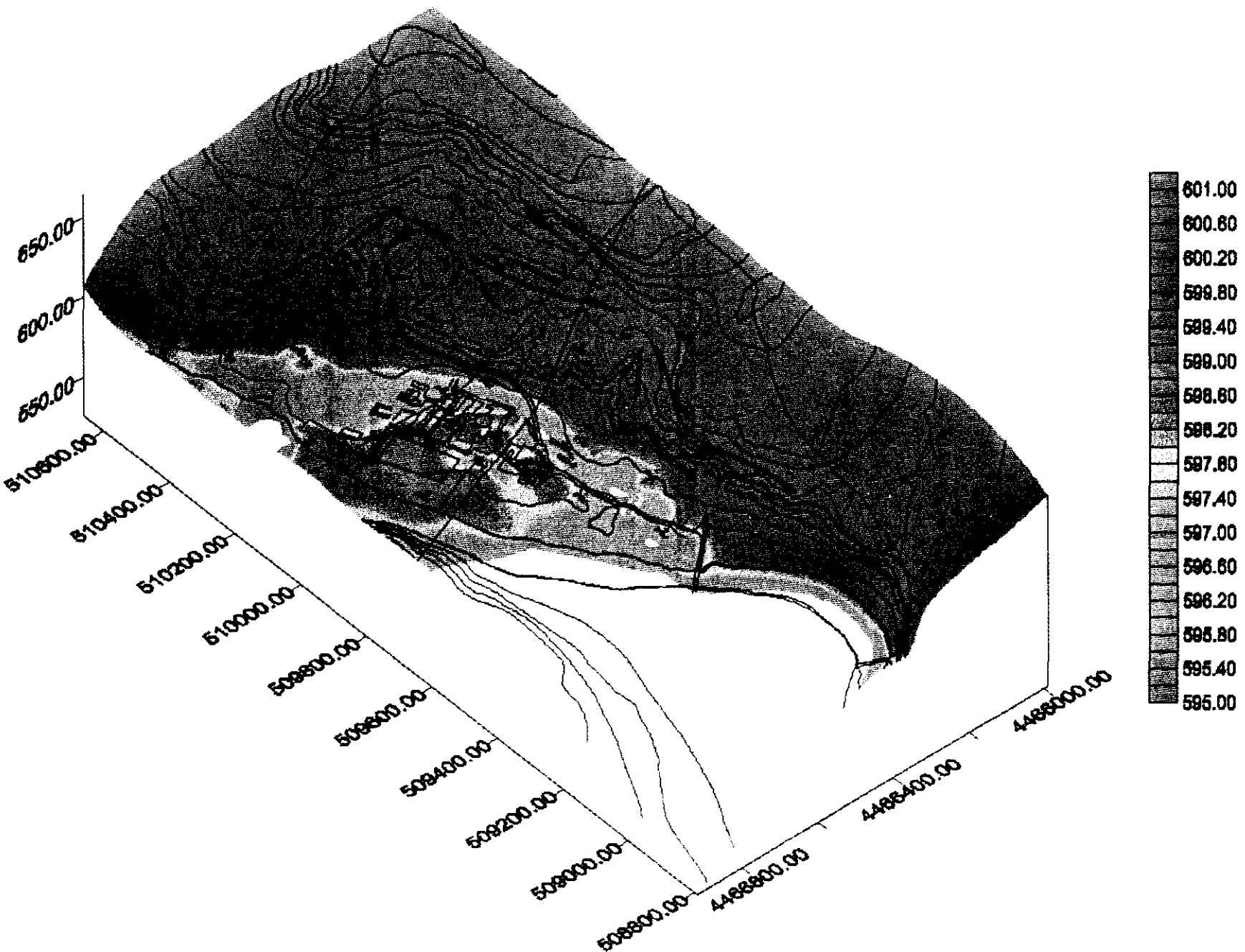
- Tramo compuesto por varios niveles de gravas y arenas, con un incremento del tamaño de grano hacia el muro. Estas gravas pueden estar sueltas y limpias o bien unidas con cemento carbonatado constituyendo una costra que limita el depósito cuaternario.

Este tramo de gravas puede estar más o menos cementado y presenta un espesor variable que puede llegar a los 3 m en las zonas de mayor potencia.

Cuando este nivel de gravas está cementado, constituye una capa rígida a modo de losa y con permeabilidad inferior a la que le corresponde a unos materiales detríticos de esta naturaleza.

Los diferentes sondeos y la geofísica han permitido identificar la zona en la que se extiende este nivel compacto cementado en la base del cuaternario, tal y como se muestra en la figura 12.2.2-3.

Figura 12.2.2-3. Base del Cuaternario en Tres Dimensiones.



Del análisis mineralógico de las muestras se obtienen los siguientes resultados:

Muestra	Tamaño del grano	Cuarzo	Calcita	Dolomita	Feldespatos	Mica
GR-1	< 0,075	25%	5%	25%	5%	10%
GR-2	< 0,106	35%	20%	35%	5%	5%
GR-3	< 0,075	30%	20%	35%	5%	10%
GR-4	< 0,075	25%	25%	35%	5%	10%
GR-5	Z 0,106	30%	30%	35%	Trazas	5%

La composición de los materiales es esencialmente carbonatada (calcita y dolomita) con proporciones comprendidas entre el 30 y 65%, aunque con cantidades de silicatos importantes, entre las que destaca el cuarzo, constituyente principal de los bolos y arenas, mientras los carbonatos se concentran en el cemento y los granos más finos.

#### Granulometrías:

Se han realizado determinaciones granulométricas representativas de los materiales de los distintos niveles de la terraza.

Muestra	Profundidad	Granulometría			Descripción
		% Gravas	% Arenas	% Finos	
GR-1	0,40 - 1,20 m	1,34	86,47	12,19	Arenas
GR-2	1,20 - 1,80 m	69,63	30,09	0,28	Gravas y arenas
GR-3	0,30 - 0,70 m	0,73	88,22	11,05	Arenas
GR-4	0,70 - 1,20 m	77,61	21,41	0,98	Arenas y gravas
GR-5	1,00 - 1,50 m	68,80	30,72	0,48	Arenas y gravas
M -1	0,35 - 0,55 m	1	9	90	Limos arenosos
M-2	0,50 - 0,70 m	1,5	24,5	74	Limos arenosos
M-3	0,10 - 0,30 m	1,5	70,5	28	Arena limosa
Sondeo 2 Muestra 1	7,00 - 7,20 m	90	9,8	0,2	Gravas limpias sin matriz
Sondeo 3 Muestra 1	7,40 - 7,45 m	70	29,2	0,8	Gravas y arcillas

Las muestras tomadas en el nivel de arenas presentan unas granulometrías con un contenido en gravas muy bajo que oscila entre el

0,73% y el 15%, los fijos varían entre el 11,05% y el 0,28%, siendo el componente mayoritario las arenas (del 70,5% hasta 88,22%).

El tramo de finos tiene cantidades de limos y arcillas en proporciones que oscilan entre el 74% y el 90% aunque con cierta cantidad de arenas (entre el 9% y el 24,5%) y gravas (entre el 1% y el 1,5%).

Las muestras compuestas mayoritariamente por arenas y gravas presentan una gran dispersión de tamaños en las partículas menores (desde las gravas finas hasta las arenas finas), sin embargo las muestras eminentemente arenosas están compuestas prácticamente en su totalidad por arenas finas bien clasificadas.

#### Humedad:

El nivel saturado de acuífero afecta a los materiales inferiores de la terraza. La zona superior, constituida mayoritariamente por arenas, drena bien, de manera que su grado de humedad va a depender directamente del aporte recibido de las precipitaciones meteorológicas.

#### Densidad:

La densidad seca de estos materiales oscila entre 1,5 y 1,7 g/cm<sup>3</sup>.

#### Permeabilidad y Transmisividad:

Se han realizado 2 ensayos de bombeo en los pozos PQ5 y PQ12, en los que debido a las características del acuífero, no se han registrado descensos en los piezómetros de control que rodeaban a cada pozo.

El nivel saturado ensayado se corresponde con el nivel inferior de la terraza, correspondiente al tramo inferior de las arenas bien clasificadas y las gravas de debajo, que según las zonas, pueden tener un espesor y un grado de cementación variable.

Para estos materiales se han obtenido los siguientes valores de permeabilidad y transmisividad.

Permeabilidad (k) = 7 - 15 m/día

Transmisividad (T) = 15-25 m<sup>2</sup>/día

#### Porosidad:

Se ha estimado que el valor de porosidad del tramo del acuífero saturado, corregido por su arcillosidad, se sitúa en torno al 20%. Esta estimación se ha realizado en base a las diagrfias de los pozos PR-2 y PR-3, situados en dicho acuífero, por medio de las sondas de densidad y de porosidad neutrónica.

### **Funcionamiento Hídrico de la Terraza:**

La terraza aluvial en la que se apoya la CNJC, constituye un acuífero libre por porosidad intergranular, con escaso espesor saturado y que en general, presenta un flujo de agua de bajo gradiente con dirección SE-NO, desaguando en el río Tajo.

La circulación del agua está directamente relacionada con la dinámica del embalse. De este modo, el flujo de agua desde la terraza se agudizará cuando descienda el nivel del embalse, relentizándose sin embargo cuando el agua embalsada alcance cotas superiores al nivel medio.

Los parámetros hidrogeológicos básicos que caracterizan este sistema acuífero son los siguientes:

- Porosidad: 20% de porosidad total y 10% de porosidad eficaz.
- Permeabilidad media: 14 m/día para el nivel saturado de la terraza en general, pero además se han calculado un rango de valores para los diferentes niveles identificados:
  - Nivel de arenas y suelo vegetal antropizado:  $10^{-2}$  - 1 m/día.
  - Nivel de arenas y limos de color marrón rojizo:  $10^{-2}$  - 1 m/día.
  - Nivel de arenas bien clasificadas: 10 - 100 m/día.
  - Nivel de gravas:  $10^3$  -  $10^4$  m/día.
  - Nivel de gravas cementadas: 7 - 15 m/día.
- Superficie del acuífero: 362.606 m<sup>2</sup>.
- Espesor medio del acuífero: varía entre 0,99 m en el sondeo PQ10 y 4,78 m en el PR1, siendo el valor medio de 2,21 m.
- Volúmen de agua: 803.752 m<sup>3</sup>.
- Transmisividad:
  - Nivel de arenas y suelo vegetal antropizado:  $1 \times 10^{-3}$  - 0,4 m<sup>2</sup>/día.
  - Nivel de arenas y limos de color marrón rojizo:  $3 \times 10^{-2}$  - 1,2 m<sup>2</sup>/día.
  - Nivel de arenas bien clasificadas: 10 - 400 m<sup>2</sup>/día.
  - Nivel de gravas:  $3 \times 10^2$  -  $3 \times 10^4$  m<sup>2</sup>/día.
  - Nivel de gravas cementadas: 15 - 25 m<sup>2</sup>/día.

- Coefficiente de almacenamiento: el valor óptimo para la modelización matemática es el 10%, para la terraza en su conjunto, pero separada por niveles, los valores son:
  - Nivel de arenas y suelo vegetal antropizado:  $1 - 10^{-1}$ .
  - Nivel de arenas y limos de color marrón rojizo:  $1 - 2,5 \times 10^{-1}$ .
  - Nivel de arenas bien clasificadas:  $1 - 3,5 \times 10^{-1}$ .
  - Nivel de gravas:  $1,5 \times 10^{-1} - 3,5 \times 10^{-1}$ .

### **Movimiento del agua.**

El movimiento del agua en el acuífero, a través de los materiales detríticos que forman la terraza, está condicionado artificialmente por las cimentaciones de las construcciones de la Central, especialmente el reactor y las torres de refrigeración. Pero además, de manera natural por el paleorelieve del contacto con el terciario, que crea formas que favorecen (en el caso del paleocanal que recorre el borde sur de la terraza) o desfavorecen (la meseta identificada en la zona central de la terraza) la circulación del agua.

Las zonas de paleorelieve deprimido encauzan la circulación del agua, especialmente en los períodos que bien por los escasos aportes recibidos, bien el descenso del nivel del embalse, el nivel del agua en el acuífero se reduce.

La recarga de la terraza aluvial tiene 2 procedencias:

- Las precipitaciones que caen sobre ella infiltrándose y alimentando el acuífero.
- Los aportes que le proporcionan las escorrentías de las precipitaciones caídas sobre la ladera terciaria y la circulación subsuperficial a través de los depósitos de ladera o los niveles terciarios alterados.

Eventualmente y de manera muy localizada se producen aportes por el riego instalado en las zonas ajardinadas.

En cuanto a las descargas, son directa al río Tajo en la zona del embalse de Zorita. No se producen aportes hacia otros materiales subyacentes ya que los niveles terciarios inferiores presentan una muy baja permeabilidad actuando de barrera impermeable.

### 12.2.3. CUATERNARIO: TERRAZA COLGADAS Y COLUVIONES. ACUIFERO N° 3.

Sobre el terciario, en la zona de la ladera al Sur de la Central que afecta al tramo de la terraza a modelizar, se apoyan 2 tipos de materiales cuaternarios:

- Depósitos coluvionares.
- Terraza colgada del río.

#### Descripción de los materiales.

El coluvión, de extensión regular y escasa potencia, se encuentra más o menos erosionado y recoge el agua de lluvia que recibe la ladera.

El nivel de terraza superior está constituido por cantos silíceos, arenas y finos.

Los depósitos cuaternarios que cubren localmente el terciario en la zona de estudio (terrazza superior y coluvión) corresponden a materiales detríticos con una permeabilidad por porosidad media-alta, tal como corresponde a las partículas que los constituyen.

#### Funcionamiento Hídrico.

Se trata de un acuífero libre por porosidad intergranular limitado en su base por los materiales terciarios impermeables.

Los parámetros hidrogeológicos básicos son los siguientes:

- **Coluvión:**
  - ✓ Permeabilidad:  $10^{-2}$  - 1 m/día.
  - ✓ Transmisividad:  $1 \times 10^{-2}$  -  $5,5 \text{ m}^2/\text{día}$ .
  - ✓ Coeficiente de almacenamiento:  $1,5 \times 10^{-1}$ .
- **Terrazas colgadas:**
  - ✓ Permeabilidad:  $10$  -  $10^3$  m/día.
  - ✓ Transmisividad:  $25$  -  $21 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{día}$ .
  - ✓ Coeficiente de almacenamiento:  $1,5 \times 10^{-1}$ .

### **Movimiento del agua.**

Se trata de un sistema acuífero superficial colgado y restringido, que recoge el agua de lluvia descargándola sobre la terraza aluvial, bien en forma de escorrentía o infiltrada a través de estos materiales y en relación con el nivel de terciario alterado, permeable, circulando a favor de la pendiente del terreno sobre el límite impermeable que establece el terciario sano.

#### **12.2.4. Terciario. Acuífero N° 4.**

##### **Afloramiento.**

Los materiales terciarios afloran a lo largo de toda la ladera situada al sur de la terraza aluvial actual, en una franja entre los niveles cuaternarios que tienen encima: las terrazas colgadas y el coluvión.

Se trata del nivel de arcillas, areniscas y margas miocenas con niveles areniscosos correspondientes a paleocanales que son más abundantes hacia el E, en los que se pueden indentificar estructuras sedimentarias.

##### **Descripción de los materiales.**

Se diferencian 2 niveles, uno superior constituido por arcillas, yesos, limos, margas, calizas y areniscas, intercaladas y combinadas entre sí, en niveles masivos o estratificados o menos continuos y potentes.

Intercalado aparece algún nivel arenoso de morfología irregular y escasa continuidad lateral, algo más permeable que el resto del material pero limitado en extensión y potencia por tratarse de paleocanales y depósitos asociados a la dinámica del abanico aluvial del Mioceno.

Las capas se disponen subhorizontales con una cierta inclinación hacia el oeste.

Se trata de unos materiales muy poco permeables sobre los que se apoyan los depósitos cuaternarios. Los niveles más superficiales presentan cierto grado de alteración, facilitando la existencia de cierto flujo de agua que drena hacia la terraza aluvial.

Por debajo de estos, a una profundidad variable entre 60 y 80 m en el área de la Central, se encuentra un segundo nivel de materiales terciarios algo más permeables, de una naturaleza similar, pero con más niveles areniscosos. Estos constituyen un acuífero que se encuentra confinado, identificado por dos de los sondeos profundos realizados.



Se han realizado 6 sondeos en la ladera terciaria y 3, que atravesando la terraza aluvial, se introducen en el terciario para caracterizarlo.

Las características de los sondeos realizados en la ladera presentan en la siguiente tabla:

Sondeo	Longitud	Espesor recubrimiento nivel alterado	Prof. Nivel Freático	Cota Nivel Freático
PT-1	60 m	11 m	10,87 m	616,9
PT-2	32 m	13,2 m	11,87 m	600,503
PT-3	19,5 m	12 m	8,79 m	600,62
PT-4	30 m	11,3 m	10,35 m	601,363
PT-5	30 m	8 m	4,6 m	608,426
PT-6	22 m	8 m	6,82 m	624,019

Sondeos perforados con recuperación continua de testigo sobre la terraza aluvial:

Sondeo	Longitud	Prof. Contacto 3 <sup>ario</sup> - 4 <sup>ario</sup>	Prof. Nivel Freático	Cota Nivel Freático
PR-1	70 m	9,1 m	4,31	600,52
PR-2	51 m	7,59 m	3,97	600,287
PR-3	48 m	7,2 m	5,22	600,295

En la figura 12.2.4-1 se puede observar el cambio en las características de los materiales entre los dos niveles, así como el contacto irregular entre ellos.

El análisis mineralógico por difracción de rayos X de las muestras de arcilla terciaria recogidas en los sondeos perforados a rotación, con recuperación continua de testigo, se presentan en la siguiente tabla:

	SONDEO	PROFUNDIDAD	ANÁLISIS MINERALÓGICO						
			Cuarzo	Calcita	Dolomita	Feldespato	Mica	Caolinita	Yeso
Muestra 1	PR-2	11,00 - 11,50 m	20%	50%	10%	5%	15%	---	---
Muestra 2	PR-3	12,50 - 13,00 m	10%	35%	5%	Trazas	25%	5%	15%
Muestra 3	PR-1	12,50 - 13,00 m	10%	30%	10%	Trazas	20%	10%	20%



**Figura 12.2.4-1.** Aspecto de la trinchera de 9,5 m de profundidad excavada para la construcción de las torres de refrigeración de la CNJC.

**Materiales representados:**

**Cuaternario:** en esta zona se distinguen dos niveles:

- ✓ Desde la superficie hasta 3,20 m de profundidad. Se trata de arenas y gravas de tamaño fino. Ocasionalmente barras arenosas y laminación cruzada.
- ✓ Desde el nivel superior hasta el Terciario. Son arenas y gravas gruesas con laminación cruzada a gran escala y algún paquete arenoso.

**Contacto erosivo con el Terciario.**

**Terciario:** paquetes alternantes de margas alteradas, arcillas y areniscas, con nivelillos de yeso intercalado.

*La composición mineralógica es predominantemente carbonatada, con calcita y dolomita en proporciones de entre el 40% y el 60%. La calcita es el mineral más abundante en estas arcillas (entre el 30% y el 50%) seguido de las micas (entre el 15% - 25%).*

*La diferencia principal entre las arcillas terciarias y las asociaciones arenas-limos de la terraza es el tipo de mineral detrítico mayoritario, que en la*

terrazza es el cuarzo mientras que en las arcillas siendo también abundante, se ve superado por los filosilicatos.

Además destaca la presencia de pequeños niveles de yeso, de mayor o menor entidad, intercalados entre las arcillas, así como cierta proporción de caolinita que no aparecía en los tramos cuaternarios.

Aunque los 4 minerales predominantes coinciden en el Terciario con el Cuaternario (calcita, dolomita, cuarzo y mica) varían sus proporciones y el tamaño del grano de los mismos, que en general se corresponde con materiales de áreas similares depositados en diferentes subambientes sedimentados que les imprimen su carácter diferenciador.

### **Granulometrías.**

Se han realizado análisis granulométricos de las muestras de arcillas terciaria tomadas en los niveles superiores, en concreto unas arcillas rojas compactas tomadas entre 14 y 15 m de profundidad.

Los resultados quedan reflejados en la siguiente tabla:

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRIA			DESCRIPCION
			%Gravas	%Arenas	%Finos	
Sondeo 2	Muestra 2	9,20 - 9,60 m	4	19	77	Arcilla roja a verdosa con algunas gravas carbonatadas.
Sondeo 2	Muestra 3	14,70 - 15 m	13	9	78	Arcilla roja compacta con nódulos de hierro.
Sondeo 3	Muestra 2	9,40 - 9,80 m	18	3	79	Arcillas rojas con yesos.
Sondeo 3	Muestra 3	14,20 - 14,60 m	14	13	73	Arcilla roja compacta con nódulos de yeso.

Estos materiales presentan un alto contenido en finos y más gravas que arenas en casi todos los casos.

La proporción de finos de estas muestras supera en todos los casos el 70%, mostrando curvas asimétricas y mal clasificadas, informando de una energía cinética muy baja durante el proceso de sedimentación.

### Permeabilidad y Transmisividad.

Se han realizado una serie de ensayos de baja permeabilidad (Pulso/Slug) en 3 sondeos (PR-1, PR-2 y PR-3), ensayándose tramos completos del terciario para establecer el comportamiento del conjunto del material, dada la escasa importancia tanto cuantitativa como cualitativa de las "individualidades" que suponen los canales areniscosos.

Sondeo	Profundidad sondeo (m)	Sección Ensayada	Nivel Piezométrico (m)	Ensayo	Conductividad Hidráulica (m/s)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /s)
PR1	70	20 - 70	+ 28,59	Pulso nº 1.1.	$4,43 \times 10^{-7}$	$2,21 \times 10^{-5}$
PR1	70	20 - 70	+ 28,59	Pulso nº 1.2.	$1,96 \times 10^{-7}$	$9,81 \times 10^{-6}$
PR2	49,1	23,7 - 49,1	+ 1,23	Pulso nº 2.1.	$3,03 \times 10^{-9}$	$7,66 \times 10^{-5}$
PR2	49,1	23,7 x 49,1	+ 1,23	Pulso nº 2.2.	$7,87 \times 10^{-10}$	$1,98 \times 10^{-5}$
PR2	49,1	23,7 x 49,1	+ 1,23	Pulso nº 2.4.	$1,39 \times 10^{-9}$	$3,51 \times 10^{-8}$
PR3	47,7	11 - 47,7	- 0,8	Pulso nº 3.1.	$2,74 \times 10^{-11}$	$1,00 \times 10^{-9}$

- Sondeo PR-1:
  - ✓ Permeabilidad:  $4,43 \times 10^{-7}$  m/s.
  - ✓ Transmisividad:  $2,21 \times 10^{-5}$  -  $9,81 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s
- Sondeo PR-2:
  - ✓ Permeabilidad:  $1,39 \times 10^{-9}$  m/s.
  - ✓ Transmisividad:  $3,51 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s
- Sondeo PR-3:
  - ✓ Permeabilidad:  $2,74 \times 10^{-11}$  m/s.
  - ✓ Transmisividad:  $1,00 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s

Los valores mayores obtenidos en el sondeo PR-1 se deben a que este sondeo atravesó una formación más permeable (a los 65 m aproximadamente) cuyo nivel piezométrico se encuentra en carga a una cota de + 28,59 m respecto a la boca de sondeo.

El sondeo PR-2 también resultó surgente. Este fenómeno pone de manifiesto la existencia de un acuíclodo confinante entre el acuífero terciario y el cuaternario.

### **Funcionamiento Hídrico del Terciario.**

Se pueden distinguir 3 tipos de materiales terciarios en función de sus características hidrogeológicas:

- Nivel superior, constituido por materiales terciarios expuestos a la erosión y la dinámica superficial que le confiere cierto grado de alteración, aumentando su capacidad para la retención y circulación de agua.

Los espesores de este nivel de terciario alterado oscilan entre 1,5 m en la zona del sondeo PT4 y 3,5 m en sondeo PT2.

Estos niveles de terciario sostienen los depósitos detríticos cuaternarios de la ladera: la terraza colgada y el coluvión, recogiendo el agua que se infiltra a través de ellos y facilitando el flujo superficial como escorrentía y el flujo subsuperficial de infiltración en las capas alteradas, discurriendo el agua a favor de la pendiente hasta que alcanza el acuífero aluvial, al cual recarga lateralmente.

- Nivel terciario sano superior. Es muy impermeable y sirve de base al terciario alterado y a los depósitos cuaternarios superiores, especialmente a la terraza aluvial objeto de estudio. Corresponde con el nivel que aísla y confina los acuíferos inferiores marcando la independencia entre el acuífero aluvial y los terciarios subyacentes.

Este nivel se extiende en profundidad hasta los 60 - 80 m en la zona de la CNJC.

- Nivel terciario inferior, situado inmediatamente por debajo de los anteriores y más permeables que ellos, constituye un nivel acuífero confinado alcanzado por los pozos PR con una dinámica totalmente independiente del acuífero aluvial y unas características físico-químicas claramente diferenciadas.

Los parámetros hidrogeológicos básicos correspondientes al terciario son los siguientes:

▫ **Porosidad eficaz:**

Terciario alterado: 5%.

Terciario sano: 2%.

▫ **Permeabilidad media:**

Nivel alterado:  $10^{-2}$  -  $10^{-4}$  m/día.

Nivel superior:  $1,39 \times 10^{-9}$  -  $2,74 \times 10^{-11}$  m/día.

Nivel inferior:  $2,2 \times 10^{-5}$  -  $4,42 \times 10^{-6}$  m/día.

▫ **Superficie del Acuífero:**

La zona de terciario alterado se extiende a través de los 0,6 Km<sup>2</sup>, aproximadamente, que mide la ladera terciaria en la zona. Mientras el terciario sano se sitúa por debajo de este y sirve de base también a la terraza aluvial, de manera que cubre toda la zona de estudio.

▫ **Espesor medio del acuífero:**

La zona alterada tiene un espesor medio variable según las zonas, que oscila entre 1 y 3,5 m.

La zona sana impermeable se extiende unos 30 - 50 m en profundidad, mientras el nivel algo más permeable lo hace desde la base del impermeable, sin haberse alcanzado su límite inferior durante los trabajos desarrollados en este estudio.

▫ **Transmisividad:**

Nivel alterado:  $1,5 \times 10^{-2}$  -  $5,5 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/día.

Nivel superior:  $3,5 \times 10^{-8}$  -  $1 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/día.

Nivel inferior:  $1,58 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/día.

▫ **Coefficiente de Almacenamiento:**

Nivel alterado:  $5 \times 10^{-2}$  - 5

Nivel superior:  $2 \times 10^{-2}$  - 2

Nivel inferior:  $1 \times 10^{-1}$

**Movimiento del Agua.**

Parte de las precipitaciones caídas de la ladera terciaria se evapotranspiran, en función de la época del año, mientras que la lluvia útil, se distribuye en escorrentía e infiltración en proporciones que dependen de las características del terreno de la zona, y especialmente de la pendiente y el tipo de cultivo-vegetación existente.

La escorrentía circula sobre la superficie del terreno, más o menos canalizada de manera natural por la formas erosivas existentes: cárcavas y canales de arroyada formados en los episodios de precipitaciones fuertes, especialmente en las zonas de ladera pendiente y con escasa vegetación, favorecido por las condiciones áridas del terreno hasta alcanzar una terraza. Una vez allí, parte se infiltra y otra parte continúa su circulación superficial como escorrentía sobre el depósito aluvial hasta el río o hasta ser interceptada por una cuneta o cualquier obstáculo que produzca su acumulación en superficie, favoreciendo la infiltración y la evapotranspiración.

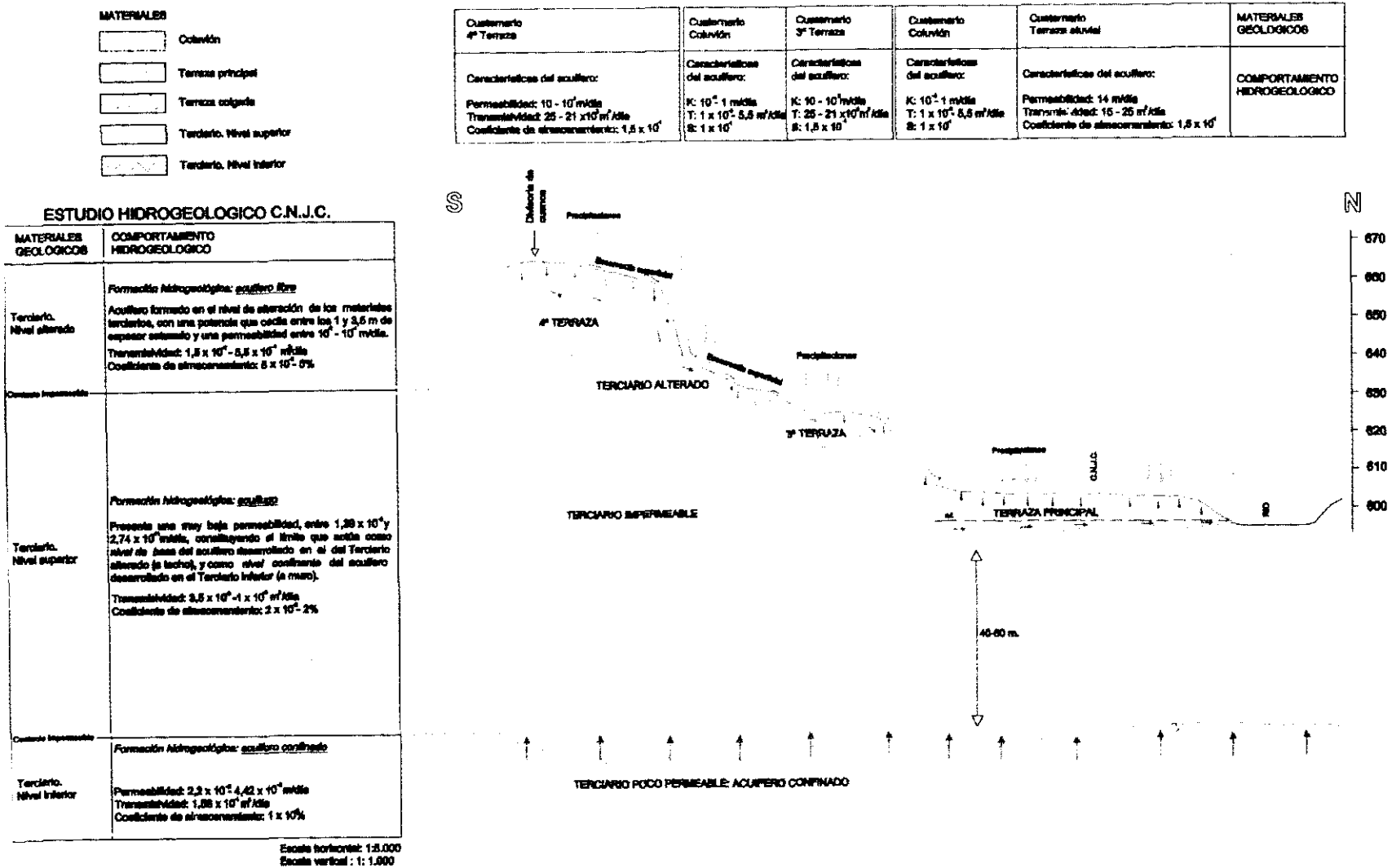
La lluvia útil que se infiltra a través del nivel alterado del terciario circula de manera subsuperficial a favor de pendiente hasta alcanzar la terraza, recargándola lateralmente.

Además, el nivel superior del terciario recoge las aguas que se infiltran a través de la terraza colgada cuaternaria y los niveles de coluviones superpuestos, que en ocasiones forman surgencias de agua en su base por el contacto con el tercio de características impermeables.

Aunque los niveles superiores del terciario son de baja permeabilidad, la mayor presión a la que se encuentra el agua en el nivel terciario inferior, dan lugar a un flujo vertical ascendente, que se traduce en una alimentación débil del acuífero cuaternario a partir del terciario. Este hecho es de gran trascendencia, ya que ante cualquier eventual accidente, no habría contaminación de los acuíferos terciarios.

En la figura 12.2.4-2 se esquematiza el movimiento del agua en las terrazas descritas, así como los parámetros de los acuíferos.

Figura 12.2.4-2. Esquema de circulación del agua.





### 12.3. BALANCE HIDRICO DETALLADO DEL PERIODO DE CONTROL.

Para la caracterización hidrogeológica del área de la Central se ha realizado un balance hídrico global a partir de los datos meteorológicos recogidos en la Central Nuclear José Cabrera (figura 12.3-1) y las estaciones meteorológicas más próximas (Salto de Zorita y Salto de Bolarque). Todos ellos contrastados con otras de las estaciones localizadas en la zona: Pastrana, Salto de Almoguera, Almonacid de Zorita, Viana de Mondejar, Carabaña, Yebes, Alcalá de Henares, Guadalajara, Sigüenza, Driebes, Cifuentes,...

Para ello se utilizaron datos de precipitaciones y temperaturas de diferente periodos:

- **Período 1961 - 1965:** datos procedentes de todos los observatorios de la zona.
- **Período 1971 - 1990:** datos procedentes de todos los observatorios de la zona.
- **Período 1992 - 1996:** datos de la Central tratados y comprobados con las correspondientes a las 2 estaciones más próximas: Salto de Bolarque y Salto de Zorita.

Se calculó la evapotranspiración potencial utilizando la fórmula de Thornthwaite.

Los resultados se presentan en las tablas siguientes:

AÑO	1961-65	1971-90	1992	1993	1994	1995	1996	Media
Enero	44,6	37,9	4,2	4	36,2	11,6	77,3	37,14
Febrero	51,7	38,9	9,8	7,4	28,2	29	29,1	38
Marzo	38,1	31,8	115,6	15,6	0,6	2,7	28,6	32,99
Abril	53	57,7	32,1	32,2	75	17,5	23,9	53,32
Mayo	32,5	50	72,3	0,4	26,8	32,7	96	46,36
Junio	27,8	36,6	72,6	42	0,2	78,5	6,2	35,68
Julio	10,6	16,9	9,7	4,4	0,6	0	1,6	13,58
Agosto	10,8	15,1	5,3	14,6	0	35,5	1,3	13,76
Septiembre	47,5	25,2	14,1	63	5,6	7	12,6	28,13
Octubre	47,3	49,3	93,9	87	71	6,4	17,1	49,93
Noviembre	86,2	46,1	1,6	65,8	39,8	68,9	75,3	53,48
Diciembre	42,9	45,2	27,1	44	3,8	68,5	141,9	46,79
<b>TOTAL</b>	<b>493</b>	<b>450,7</b>	<b>458,3</b>	<b>380,4</b>	<b>287,8</b>	<b>358,3</b>	<b>510,9</b>	<b>449,1567</b>

Meses	Precipitación media (mm)	Temperatura media (°C)	Evapotranspiración real (mm)	Lluvia útil (mm)
Enero	37,14	5,19	9,18	27,96
Febrero	38	6,79	14,47	31,21
Marzo	32,99	10,06	32,99	0
Abril	53,32	12,71	53,32	0
Mayo	46,36	17,47	46,36	0
Junio	35,68	20,92	35,68	0
Julio	13,58	24,78	13,58	0
Agosto	13,75	24,12	13,76	0
Septiembre	28,13	20,05	28,13	0
Octubre	49,93	14,88	49,93	0
Noviembre	53,48	8,93	22,79	30,69
Diciembre	46,79	5,58	10,34	36,45
<b>TOTAL</b>	<b>449,16</b>	<b>14,29</b>	<b>330,54</b>	<b>118,62</b>

Precipitaciones y temperaturas medias.

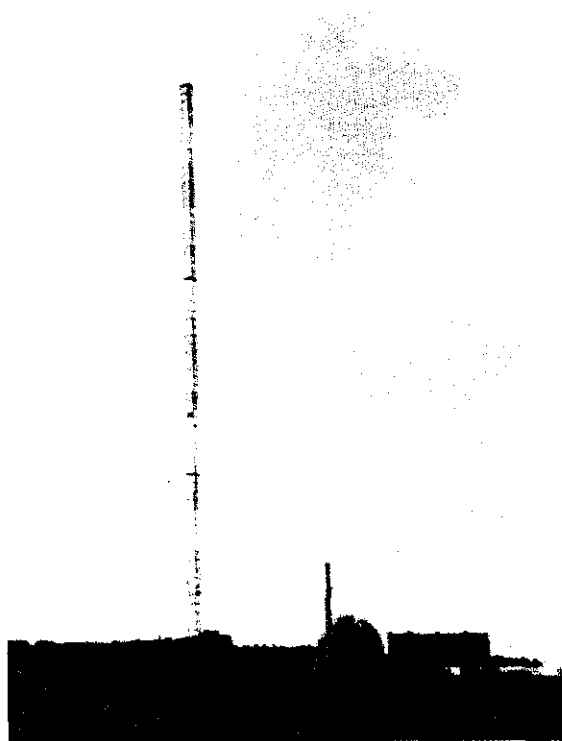


Figura 12.3-1. Torre Meteorológica de la CNJC.

Precipitaciones medias anuales = 449,16 mm/anuales.

Evapotranspiración real = 330,54 mm/anuales.

Lluvia útil = 118,62 mm/anuales.

Lluvia útil = escorrentía + infiltración.

A fin de utilizarlo para la calibración del modelo matemático se realizó un balance hídrico de detalle de los datos correspondientes al período de control = agosto 96 a julio 97.

#### PRECIPITACIONES (mm)

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
96	Agosto	5,1	3,8	4,45
	Septiembre	16,9	17,1	17
	Octubre	10,4	7,7	9,05
	Noviembre	77,4	73,2	75,3
	Diciembre	143,2	140,6	141,9

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
97	Enero	111,5	105,2	108,35
	Febrero	7,1	6	6,55
	Marzo	0	0	0
	Abril	31,6	21,9	26,75
	Mayo	55,6	74,4	65
	Junio	26,8	23,5	25,15
	Julio	28,8	38,5	33,65

#### TOTAL PRECIPITACIONES (mm)

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
	TOTAL 96 Y 97	514,4	511,9	513,15

## TEMPERATURA (°C)

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
96	Agosto	22,6	23,2	22,9
	Septiembre	17,9	18	17,95
	Octubre	14,2	14,3	14,25
	Noviembre	9,4	8,8	9,1
	Diciembre	7,1	5,9	6,5

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
97	Enero	6,6	5,3	5,95
	Febrero	9,6	8,6	9,1
	Marzo	13,2	13,4	13,3
	Abril	15	14,9	14,95
	Mayo	16,7	16	16,35
	Junio	19,2	18,8	19
	Julio	23,2	22,9	23,05

## TOTAL TEMPERATURA (°C)

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
	TOTAL 96 Y 97	14,56	14,18	14,37

**EVAPOTRANSPIRACION REAL (mm)**

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
96	Agosto	5,1	3,8	4,45
	Septiembre	16,9	17,1	17
	Octubre	10,4	7,7	9,05
	Noviembre	24,91	23,18	24,045
	Diciembre	15,39	11,97	13,68

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
97	Enero	13,66	10,09	11,875
	Febrero	7,1	6	6,55
	Marzo	0	0	0
	Abril	31,6	21,9	26,75
	Mayo	55,6	74,4	65
	Junio	26,8	23,5	25,15
	Julio	28,8	38,5	33,65

**TOTAL EVAPOTRANSPIRACION REAL (mm)**

Meses		Salto Zorita	Salto Bolarque	Media
	TOTAL 96 Y 97	236,26	238,14	237,20

**BALANCE HIDRICO DEL AÑO 1996 - 1997**

	Meses	Precipitaciones	Lluvia útil
96	Agosto	4,45	0
	Septiembre	17	0
	Octubre	9,05	0
	Noviembre	75,3	51,26
	Diciembre	141,9	128,22

	Meses	Precipitaciones	Lluvia útil
97	Enero	108,35	96,48
	Febrero	6,55	0
	Marzo	0	0
	Abril	26,75	0
	Mayo	65	0
	Junio	25,25	0
	Julio	33,65	0

**TOTAL BALANCE HIDRICO DEL AÑO 1996 - 1997**

	Meses	Precipitaciones	Lluvia útil
	TOTAL 96 Y 97	513,15	275,96

Precipitaciones caídas      513,15 mm

Evapotranspiración real      237,2 mm = 46,22%

Lluvia útil                      279,95 mm = 53,78%

Precipitación = Evapotranspiración + Lluvia útil

Lluvia útil = Escorrentía + infiltración = 53,78%

Los cálculos se han realizado siguiendo la sistemática del balance global, calculando la evapotranspiración potencial a partir de la fórmula de Thornthwaite y la lluvia útil como resto de la precipitación caída y el valor de la evapotranspiración.

Las diferencias entre los datos globales y los del período utilizado para la calibración se comparan en los gráficos siguientes.

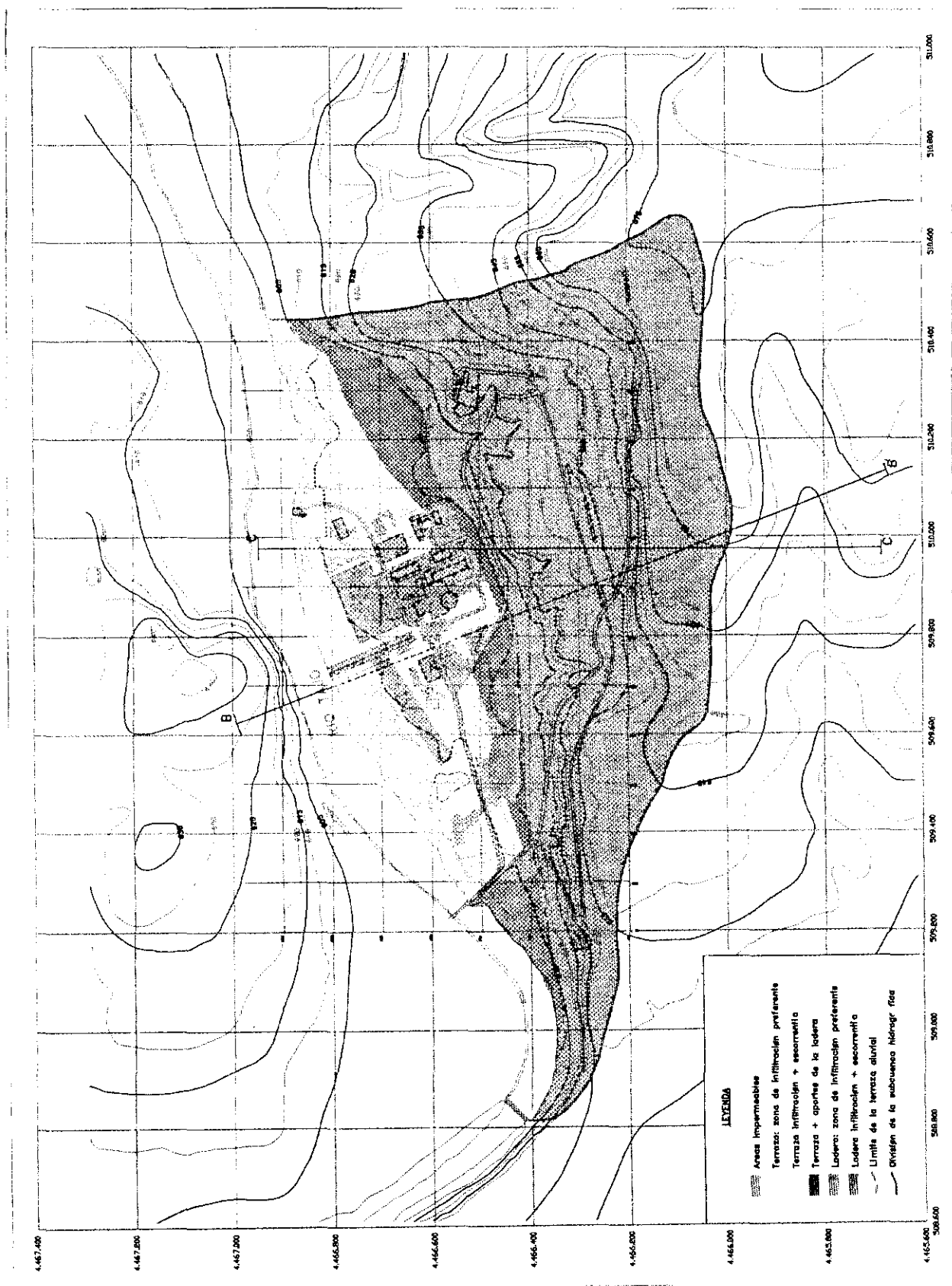
Nótese que la media ponderada de las temperaturas es notablemente inferior al valor obtenido entre agosto 96 y julio 97 (449,16 mm frente a los 513,15 de este año). La evapotranspiración también resulta significativamente diferente 330,54 mm en el balance global y 237,20 mm este año, de manera que la lluvia útil para este período resulta superior a la media.

A fin de concretar las recargas en el área de estudio y establecer el reparto de la lluvia útil en escorrentía e infiltración se han evaluado las características físicas de la zona, diferenciándose las siguiente seis zonas:

- Áreas impermeables: zonas construidas, pavimentadas o cubiertas que ocupan una superficie total de unos 133.794 m<sup>2</sup> (0,134 km<sup>2</sup>).
- Terraza: zonas de infiltración preferente: zonas planas de la terraza independientes de la circulación del agua a la ladera. Son en total 0,017 Km<sup>2</sup>.
- Terraza: zonas con distribución de la lluvia útil en infiltración y escorrentía, zonas con relieve suave pero una ligera pendiente favorece la circulación del agua en superficie. Son 0,168 Km<sup>2</sup>.
- Terraza que recibe aportes de la ladera, se trata de la zona próxima a la ladera terciaria que recibe la circulación superficial y subsuperficial de la ladera. Ocupa 0,087 Km<sup>2</sup>.
- Ladera: zona de infiltración preferente debido a su superficie horizontal y el uso del suelo por la agricultura ocupando un total de 0,29 Km<sup>2</sup>.
- Ladera: zona de escorrentía e infiltración, con cierta pendiente y grado de cubrición vegetal irregular y una superficie de 0,289 Km<sup>2</sup>.

La figura 12.3-2 muestra la distribución de estas zonas.

Figura 12.3.-2. Cuenca Hidrográfica.





Se ha estimado la escorrentía superficial de cada una de ellas por el Método del Número de Curva. Este método ha sido elaborado por U.S. Soil Conservation Service y se basa en la estimación de la escorrentía superficial a partir de las características del suelo, el uso del mismo y de su cubierta vegetal. Se supone que cada uno de los complejos suelo-vegetación en cada zona de las diferenciadas se comporta de una misma forma frente a la infiltración.

De esta manera los rangos de variación de escorrentía e infiltración determinados por las diferentes zonas son las siguientes:

Zonas	LLUVIA UTIL	
	Escorrentía	Infiltración
<b>Areas impermeables</b>	1373,54 - 1379,75 mm	6,2 - 0 mm
<b>Terraza: zona de infiltración preferente</b>	858,01 - 0 mm	521,74 - 1379,75 mm
<b>Terraza: infiltración + escorrentía</b>	1106,43 - 1251,66 mm	272,32 - 128,09 mm
<b>Terraza + aportes de la ladera</b>	1584,47 - 1729,7 mm	1087,97 - 942,74 mm
<b>Ladera: zona de infiltración preferente</b>	940,32 - 1188,42 mm	439,43 - 191,33 mm
<b>Ladera: infiltración + escorrentía</b>	1240,2 - 1292,7 mm	139,55 - 87,05 mm

### Escorrentías e Infiltraciones recomendadas para cada zona

Areas impermeables 1373,54 mm de escorrentía y 6,2 mm de infiltración anuales.

Terraza: zona de infiltración preferente 858,01 mm de escorrentía y 521,74 mm de infiltración anuales.

Terraza: infiltración + escorrentía 1106,43 mm de escorrentía y 273,32 mm de infiltración anuales.

Terraza + aportes de la ladera 1584,47 mm de escorrentía y 1087,97 mm de infiltración anuales.

Terraza: 1106,43 mm de escorrentía y 273,32 mm de infiltración anuales.

Aportes: 1292,7 mm de escorrentía de la ladera que se reparten en:

- 478,04 mm de escorrentía.
- 814,65 mm de infiltración.

Ladera: zona de infiltración preferente 940,32 mm de escorrentía y 439,43 mm de infiltración anuales.

Ladera: infiltración + escorrentía 1292,7 mm de escorrentía y 87,05 mm de infiltración anuales.

---

## 13 MODELIZACIÓN MATEMÁTICA

---

En este apartado se recoge todo el estudio realizado que servirá para desarrollar el modelo matemático aplicable al entorno de la Central Nuclear José Cabrera (CNJC), el cual se ha desarrollado a partir de los datos de modelo conceptual.

Una vez definido dicho modelo numérico y su calibración, se realiza un análisis de escenarios en el que se estudian diferentes condiciones que se pueden dar en el área de estudio.

Por último se establece una hipótesis de transporte de un contaminante radiactivo estudiando la difusión del mismo en los acuíferos estudiados.

En consecuencia este modelo será utilizado para simular la migración de radionucleidos o de contaminantes convencionales en el entorno de la Central en el caso de producirse un vertido accidental al exterior y se empleará en el diseño del Programa de Vigilancia y Control de las aguas subterráneas. Dichas aguas hipotéticamente contaminadas, descargan, fundamentalmente, en las aguas superficiales, produciendo la contaminación de las mismas. Ello daría lugar a un impacto ambiental radiológico que se cuantifica mediante la utilización de otros modelos de cálculo de concentración en los embalses y de las dosis equivalente efectiva que recibiría la población potencialmente afectada.

### 13.1. OBJETIVOS.

El establecimiento de un modelo de flujo de aguas subterráneas, tiene como objetivos poner de manifiesto el movimiento de dichas aguas, isopiezas y líneas de flujo, en el entorno de la Central Nuclear José Cabrera, elaborándose, a partir de este modelo de flujo, un modelo de transporte de partículas, supuestamente vertidas al acuífero por un hipotético accidente.

### 13.2. BASES DE PARTIDA.

Para la definición del modelo matemático son necesarios una serie de datos hidrológicos, hidroquímicos, hidrogeológicos y meteorológicos, que podríamos dividir en las siguientes clases:

- Características de los hipotéticos contaminantes químicos o radioactivos.
- Propiedades hidrogeológicas.
- Cartografía de la zona.
- Meteorología.
- Piezometría.
- Hidrología (río).

Todos estos datos ya se han descrito en apartados anteriores.

### 13.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Los códigos seleccionados fueron MODFLOW versión 3.0. (modelización del flujo de agua subterránea) y MT3D versión 1.5. (modelización de migración de solutos), ya que están suficientemente aceptados internacionalmente para la resolución de problemas con complejidad similar al que nos ocupa. Ambos códigos pueden resolver problemas en tres dimensiones resolviendo mediante diferencias finitas la ecuación del flujo en caso de MODFLOW, y método de las características combinado con diferencias finitas para la ecuación del transporte en el caso de MT3D.

En los códigos se realizaron una serie de modificaciones que se documentan en el Anexo 13.3. Estos cambios realizados no afectan a la resolución numérica del problema, sino que están dirigidos a solucionar problemas de gestión de memoria física, es decir, para reducir el tamaño de los ficheros de salida de resultados.

Como preprocesador y postprocesador de los códigos se escogió PROCESSING (PM) para ambos. PM presenta las grandes ventajas de trabajar como preprocesador y postprocesador de ambos códigos, y que la interfase con el usuario es gráfica.

En ambas herramientas se define el modelo sobre un mallado con celdas de forma rectangular, pudiendo ser la forma de dicho mallado irregular. PM permite asimismo definir diferentes tamaños de celda en el mallado.

De cara al establecimiento de las líneas de corriente se eligió MODPATH versión 3.0.

Por otro lado para todo el tratamiento de la información existente, y establecimiento del Sistema de Información Geográfica realizado en este mismo proyecto, se utilizaron herramientas específicas para esta última tarea como son Idrisi para Windows y ArcInfo/ArcView.

#### 13.3.1. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO. CONEXIÓN CON EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS).

Tal y como se decía, para la definición del modelo matemático se fijaron una serie de parámetros establecidos en el modelo conceptual. Algunos de estos parámetros son los siguientes:

- Delimitación geográfica en planta y alzado.
- Condiciones iniciales.
- Condiciones de contorno.
- Definición de las recargas.
- Propiedades hidrogeológicas de la zona a modelizar.

Una vez definida geográficamente la zona que se ha modelizado, se realizó una discretización espacial, generándose una serie de celdas sobre las que se realizó la modelización, es decir el mallado del modelo (figura 13.3.1.-1.). Para cada una de estas celdas es necesario definir sus características hidrogeológicas, espaciales, etc, lo cual si la zona a modelizar es extensa y el tamaño de las celdas no es muy grande genera una gran cantidad de celdas (en este caso un total de 21.000), por lo que la entrada de datos para todas estas celdas es una tarea costosa en tiempo. Un ejemplo de ello puede verse en la figura 13.3.1.-2., en la que se muestra en detalle el valor de cota topográfica para cada celda del mallado. Queda patente la dificultad de definir con precisión el valor para cada una de las celdas del mallado, especialmente cuando se trata de parámetros que presentan gran heterogeneidad, como es el caso expuesto de la topografía.

Para el presente proyecto se realizó un tratamiento de la información mediante el G.I.S. desarrollado en el mismo, elaborándose un código de conexión entre dicho G.I.S. y MODFLOW. El algoritmo de este código de conexión implementado, representado en la figura 13.3.1-3, se describe en el siguiente apartado.

Mediante esta técnica (figura 13.3.1-4) se consigue una mayor precisión en la definición del modelo y un ahorro de tiempo considerable.

### 13.3.2. METODOLOGÍA.

Para establecer el modelo numérico es necesario seguir los pasos recogidos dentro del algoritmo representado en la figura 13.3.2-1. A continuación se comentan brevemente cada uno de estos pasos hasta el establecimiento definitivo del modelo.

- **Establecer la finalidad del modelo:** Se trata de realizar un modelo numérico de flujo y transporte para el establecimiento de una red de vigilancia y control de aguas subterráneas en el entorno de la Central Nuclear José Cabrera.
- **Selección y tratamiento de datos:** Una vez definido el problema a resolver, es necesario establecer los parámetros que llevan a definir este problema y obtener una solución al mismo.
- **Modelo conceptual:** Seleccionados los datos necesarios, se pasa al establecimiento de un modelo conceptual sobre el que se basará el posterior modelo numérico. Este modelo conceptual incluye el establecimiento de las unidades estatigráficas, estudio meteorológico con balances de agua, parámetros hidrogeológicos, etc.

**Figura 13.3-1-1. Mallado definido para el modelo.**

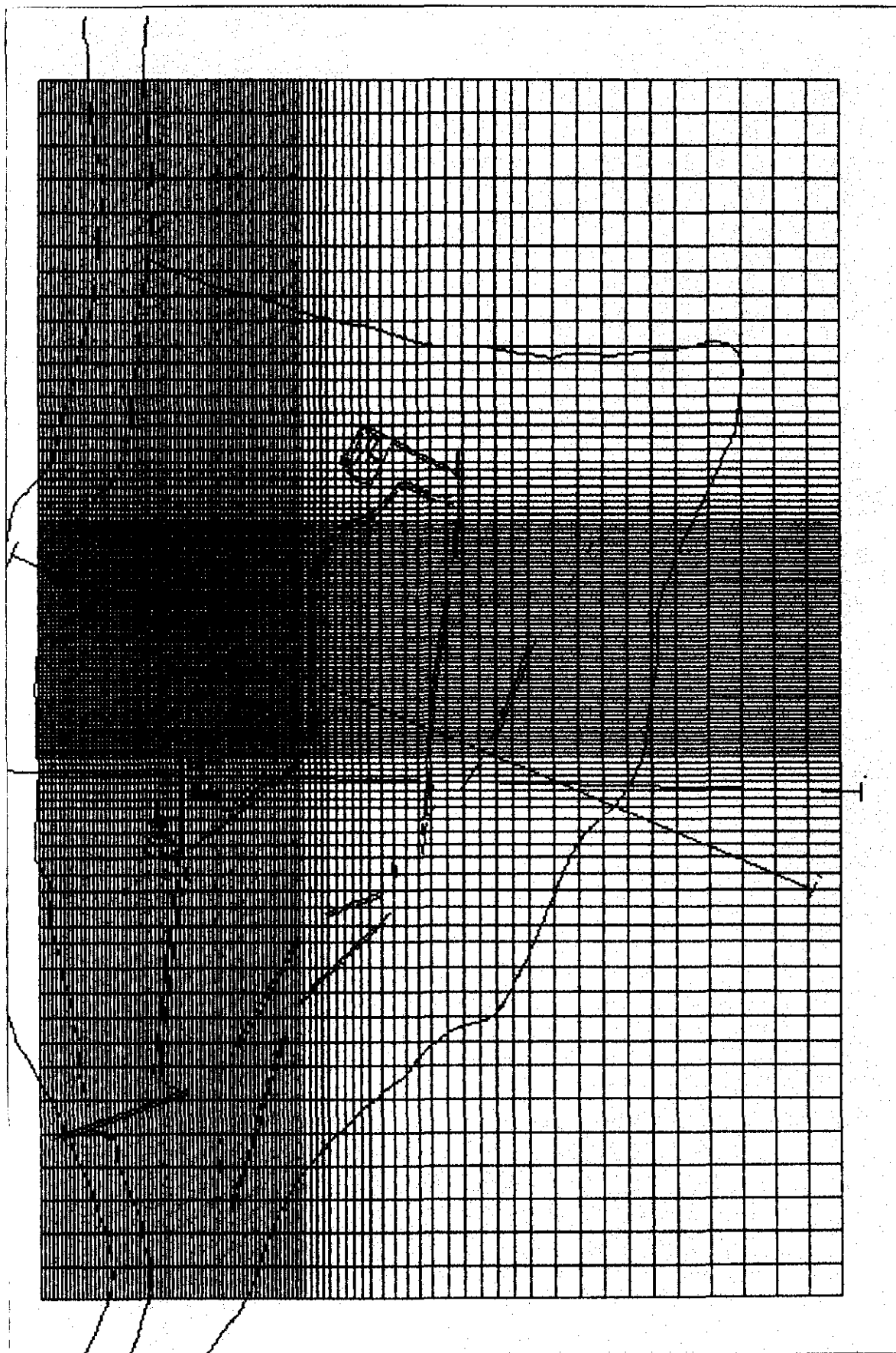


Figura 13.3.1-2. Ejemplo de definición de valor de celdas en el G.I.S. (Topografía).

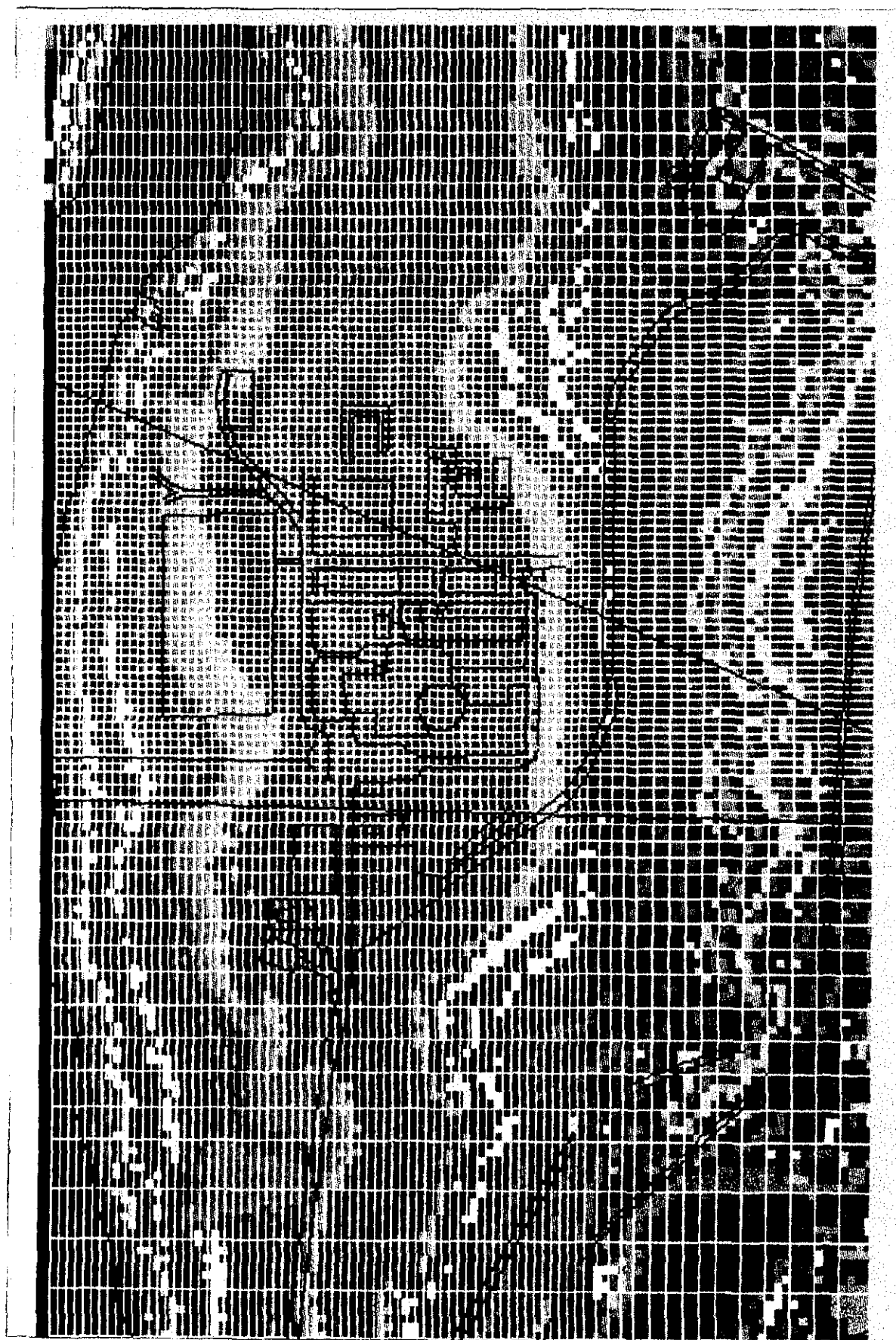


Figura 13.3.1-3. Algoritmo del código desarrollado (para cada celda del modelo de elevación del terreno).

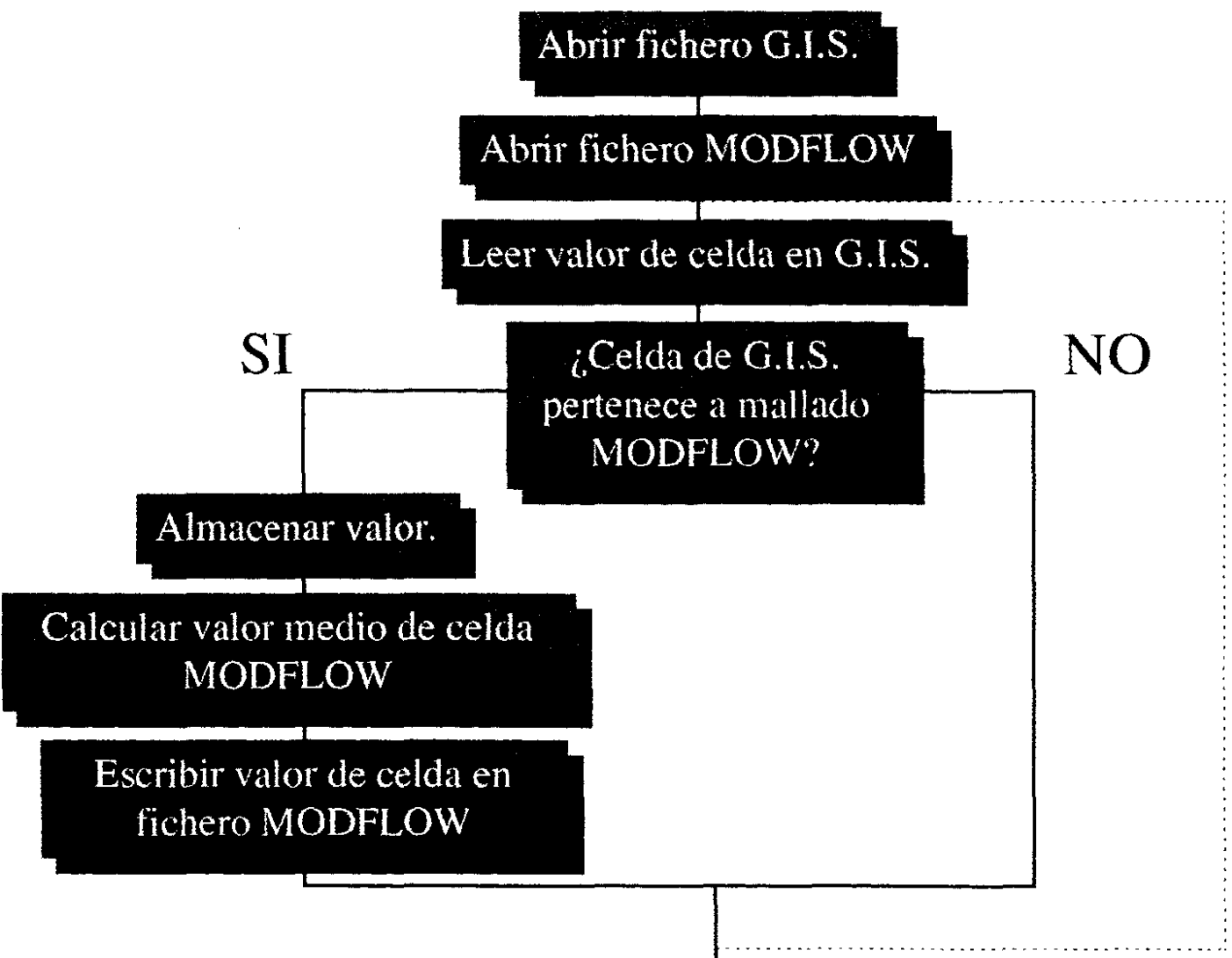




Figura 13.3.1-4. Metodología de trabajo utilizada para el tratamiento de datos y definición del modelo.

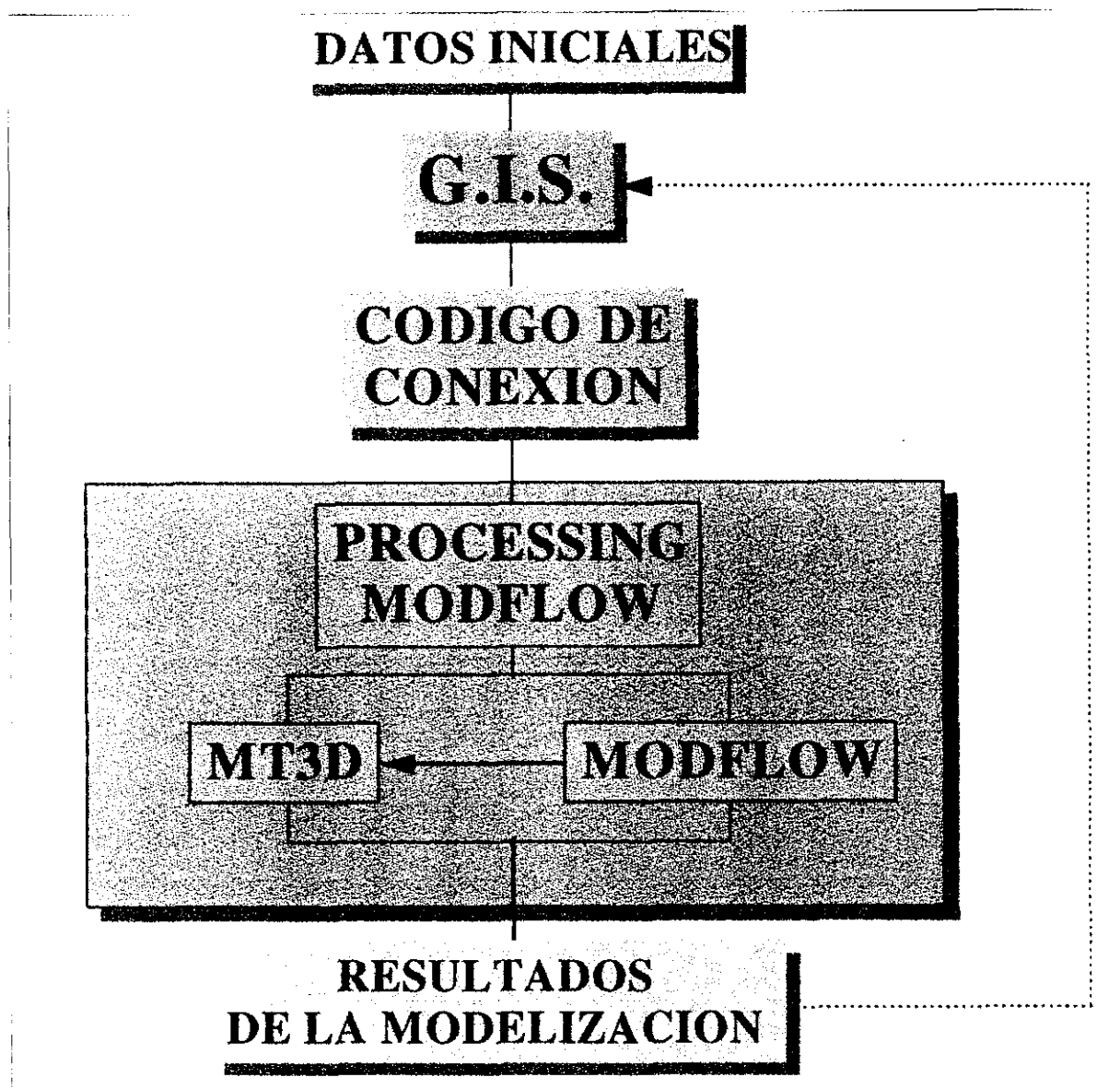
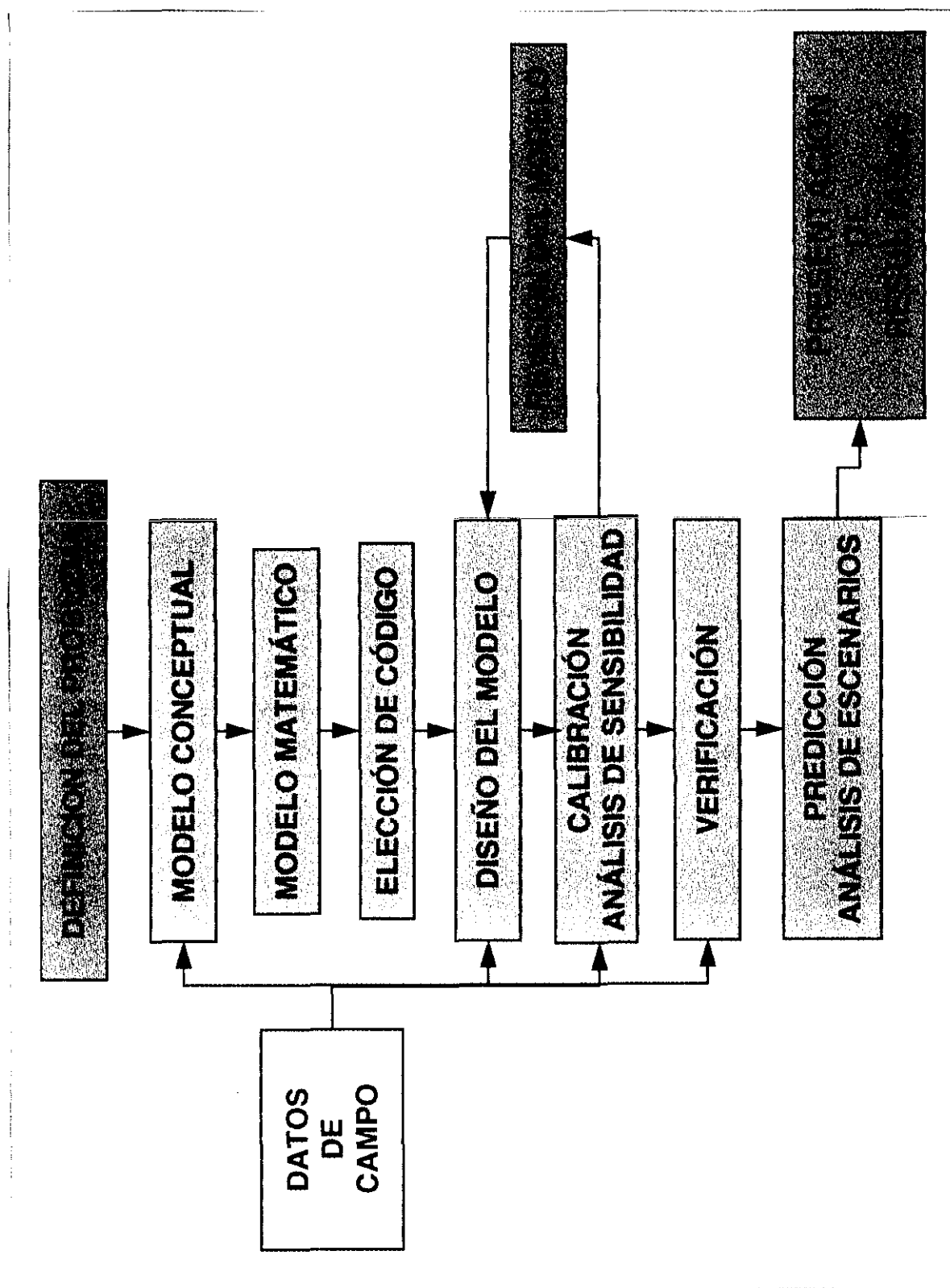


Figura 13.3.2-1. Metodología de trabajo empleada.



- **Sección del código matemático:** Establecidas las bases del modelo, se pondera entre los códigos existentes para resolver el problema y se elige el óptimo, o en el caso de no existir éste, realizar la implementación de un código propio (en este caso se incluirá la verificación de este código). En este trabajo se eligieron los códigos comentados en apartados anteriores.
- **Diseño del modelo numérico:** Elegido el código y establecido el problema físico, se pasa al establecimiento de las ecuaciones matemáticas que lleven a la solución del problema planteado.
- **Calibración del modelo:** Implantado el primer modelo numérico, se comparan las soluciones numéricas con las medidas realizadas en campo. Mediante pruebas y comparaciones de errores, así como con la realización de análisis de sensibilidad, se ajustan los diferentes parámetros de forma que la solución numérica se aproxime a la realidad.
- **Predicciones:** Se realizan una serie de análisis de escenarios, esto es, se predicen situaciones de los acuíferos existentes en determinadas situaciones. En esta tesis se realizan diferentes hipótesis con variaciones en el nivel del embalse (condición de contorno) y de las precipitaciones.
- **Documentación y presentación de resultados.**

### 13.3.3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (G.I.S.)

Tal y como se exponía en la PARTE EXPOSITIVA, dentro del presente proyecto se ha realizado un Sistema de Información Geográfica (G.I.S.) Dicho sistema es el encargado de almacenar, integrar y tratar toda la información generada durante el transcurso del proyecto y posteriormente al término del mismo.

El G.I.S. ha sido utilizado en todas las fases del proyecto.

En la fase inicial se definió el entorno cercano de la Central y sus características tanto hidrogeológicas como geológicas, sociales, etc.

Asimismo en la fase de definición del modelo, el G.I.S. no solo se ha utilizado para el almacenamiento ordenado e integrado de la información, sino que su capacidad para el tratamiento de información ha sido enormemente aprovechada para la definición precisa del propio modelo numérico.

En una fase posterior a la definición del modelo, se integra en el G.I.S. todos los resultados, así como las predicciones calculadas por el mismo.

### 13.4. PARÁMETROS UTILIZADOS DEL MODELO CONCEPTUAL.

En el apartado anterior se describía el modelo conceptual, cuyo resumen de los parámetros tomados en el modelo matemático son los siguientes:

Materiales	Permeabilidad m/día	Transmisiv. m <sup>2</sup> /día	C. Almacen.
<b>Nivel Antropico</b>	$10^2 - 5 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^4$	$2 - 3 \cdot 10^{-1}$
• Cuaternario.			
Terraza Aluvial Actual (1ª).	$10 - 10^2$	$2 \cdot 10^1 - 3 \cdot 10^2$	$15 \cdot 10^{-2}$
Terraza Aluvial sobre la que se ubica la CNJC (2ª).			
- Nivel de arenas y suelo vegetal antropizado.	$10^{-2} - 1$	$1 \cdot 10^{-3} - 0,4$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
- Nivel de arenas y limos de color marrón rojizo.	$10^{-2} - 1$	$3 \cdot 10^{-2} - 1,2$	$1,0 - 2,5 \cdot 10^{-1}$
- Nivel de arenas bien clasificadas.	$10 - 100$	$10 - 400$	$1,0 - 3,5 \cdot 10^{-1}$
- Nivel de gravas.	$10^3 - 10^4$	$3 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^{-1} - 3,5 \cdot 10^{-1}$
- Nivel de gravas cementadas.	$7 - 15$	$15 - 25$	
Terrazas Colgadas (3ª y 4ª).	$10 - 10^3$	$25 - 21 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Coluvión.	$10^2 - 1$	$1 \cdot 10^2 - 5,5$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
• Terciario.			
Nivel alterado.	$10^{-2} - 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2} - 5,5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Nivel de arcillas, yesos, limos, margas, calizas y areniscas.	$1,39 \cdot 10^{-9} - 2,74 \cdot 10^{-11}$	$3,51 \cdot 10^{-8} - 1,00 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Nivel de arcillas limosas y margas con intercalaciones de areniscas.	$2,2 \cdot 10^{-5} - 4,42 \cdot 10^{-6}$	$1,58 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$

En cuanto a la delimitación del área de modelización, se define la siguiente:

El borde Norte de la terraza modelizada viene dado por el río Tajo. Es el área de descarga del acuífero aluvial (superior o Cuaternario). El flujo de agua existente entre el río y el acuífero mencionado está condicionado por el nivel del embalse, consecuencia de que este tramo del río corresponde a la cabecera del embalse de Zorita, cuya cota se mantiene controlada y constante por necesidades de refrigeración de la Central. Dicho control se realiza mediante la regulación de los embalses de Zorita, aguas abajo; y Bolarque y Entrepeñas-Buendía, aguas arriba.

El borde Este se supone de gradiente nulo, ya que la terraza aluvial continúa aguas arriba y se observa (figura 13.4-1) que tiene unas propiedades similares al tramo de terraza en la que se sitúa la Central.

El borde Este se supone de gradiente nulo, ya que la terraza aluvial continúa aguas arriba y se observa (figura 13.4-1) que tiene unas propiedades similares al tramo de terraza en la que se sitúa la Central.

Por el lado Oeste la terraza se cierra en el embalse.

El límite Sur del modelo se lleva hasta la divisoria de cuenca identificada por la topografía.

El acuífero superior aluvial se apoya en el Terciario, por lo que el borde inferior del acuífero superior se supone cuasi impermeable y con una cartografía irregular. La definición de esta interfase se realiza a partir de la información obtenida de los distintos sondeos y perfiles sísmicos, extrapolando esta información a toda la extensión del área del modelo.

En el borde Sur del acuífero aluvial se pone de manifiesto un contacto con materiales terciarios. En esta zona existen sobre el Terciario unos niveles permeables formados en una parte por materiales alterados del propio Terciario, y en otra por un coluvión, poniendo en contacto los niveles de terraza superiores con la terraza aluvial.

Esta última zona constituye un sistema acuífero superficial restringido que actúa recogiendo el agua de precipitaciones y descargándola en la terraza aluvial en forma de escorrentía, o como infiltrada a través de estos materiales circulando a favor de la pendiente del terreno sobre el contacto impermeable con el material Terciario inferior.

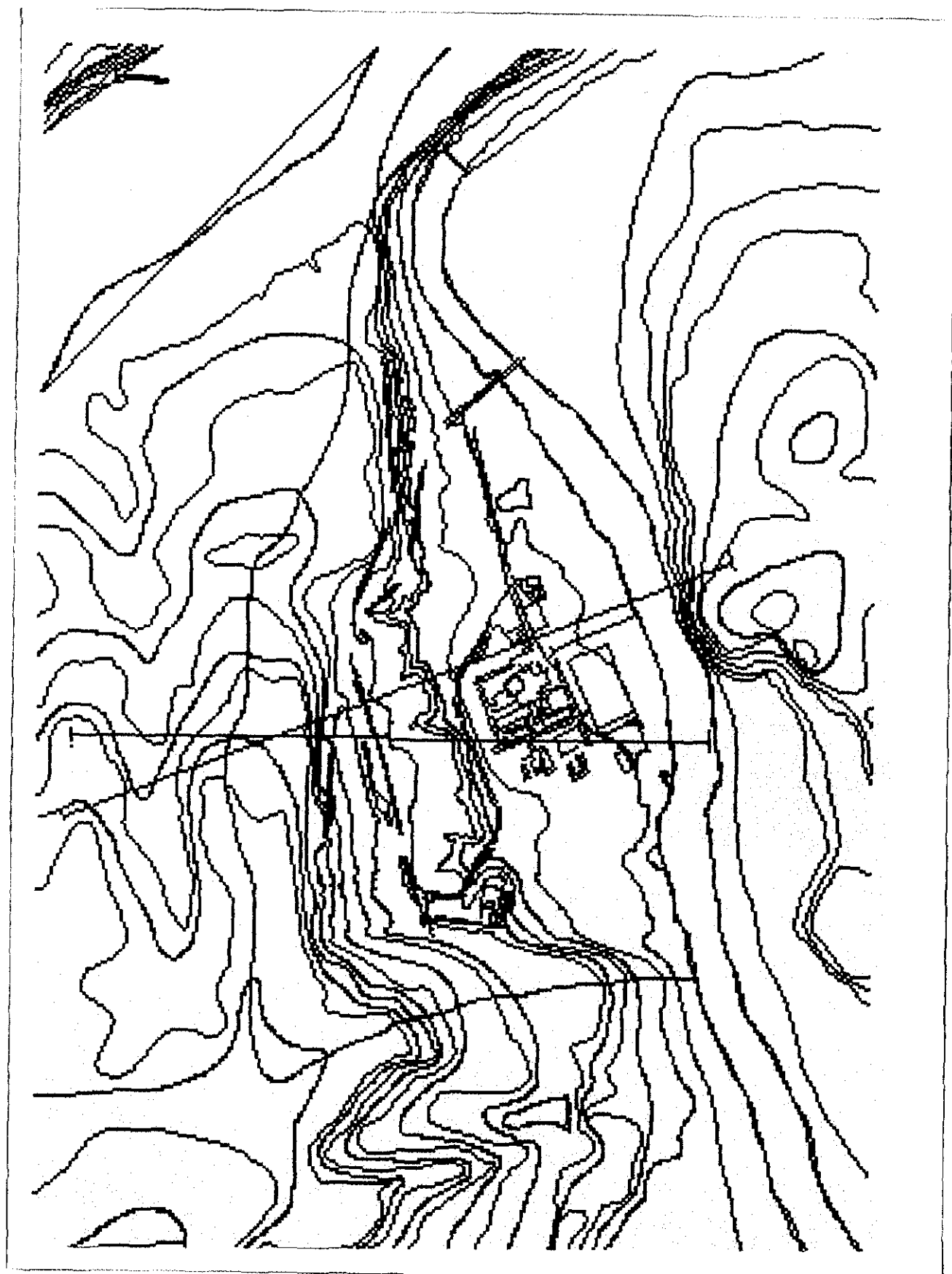
Respecto al balance hídrico, se ha caracterizado la subcuenca en la que se encuentra la zona de estudio. Esta tiene un área total de 1,2 km<sup>2</sup> distribuidos en 0,55 Km<sup>2</sup> correspondientes a zona de terraza aluvial y 0,65 Km<sup>2</sup> de ladera terciaria.

Dentro de esta subcuenca se encuentra la zona modelizada con un área de terraza aluvial de 0,29 Km<sup>2</sup>, ocupada en una superficie de 50.000 km<sup>2</sup> por edificaciones y zonas asfaltadas, por lo que se consideran impermeables a la lluvia, resultando por tanto una superficie efectiva de terraza de 240.000 m<sup>2</sup>.

El balance hidrometeorológico medio calculado a partir de fórmulas empíricas, es el siguiente:

	<i>mm/año</i>	<i>%</i>
Precipitación	404,75	---
Evapotranspiración Real	325,65	80,45
Escorrentia	67,75	16,74
Infiltración	11,35	2,81

FIGURA 13.4-1. Curvas de nivel topográfico del entorno de la Central Nuclear José Cabrera.



En cuanto al área de ladera correspondiente a la zona de estudio se puede cifrar en 325.000 m<sup>2</sup>.

La recarga total estimada para la terraza aluvial es de 9.579.050 l/año. Esta recarga queda desglosada en varios conceptos detallados a continuación:

- Infiltración del agua de lluvia que cae directamente sobre la terraza, calculada a partir del valor de la infiltración (11,35 mm/año) y el área de terraza aluvial perteneciente al modelo 240.000 m<sup>2</sup>:

$$11,35 \text{ mm/año} \times 240.000 \text{ m}^2 = \mathbf{2.724.000 \text{ l/año}}$$

- Escorrentía superficial de la ladera que llega a la terraza y se infiltra, calculada con los valores de escorrentía en ladera.

$$67,75 \text{ mm/año} \times 325.000 \text{ m}^2 = \mathbf{22.018.750 \text{ l/año}}$$

Se calcula que, de todo esta agua, tan solo se infiltra el 14,38%, convirtiéndose el resto de esta agua en escorrentía por la terraza.

$$\mathbf{\text{Agua que se infiltra en la terraza: } 22.018.750 \times 14,38\% = 3.166.296 \text{ l/año}}$$

$$\mathbf{\text{Escorrentía en terraza (debida a la ladera) = } 22.018.750 - 3.166.296 = 18.852.450 \text{ l/año}}$$

- Agua que percola hasta el aluvial infiltrada en ladera, calculada como en el primer caso a partir del valor de la infiltración y de superficie:

$$325.000 \text{ m}^2 \times 11,35 \text{ mm/año} = \mathbf{3.688.750 \text{ l/año}}$$

Se puede realizar una distribución espacial de las diferentes áreas de infiltración y escorrentía en la zona:

- Áreas impermeables, en donde el agua se recoge y canaliza, no teniendo ningún contacto directo con el acuífero.
- Áreas recargadas a partir del agua de lluvia que se infiltra directamente.
- Área de ladera terciaria que recarga la terraza aluvial.
- Área de la terraza aluvial que además del aporte directo del agua de lluvia, recibe aportes de escorrentía de la ladera.

### 13.5. ESTRUCTURA DEL MODELO.

#### 13.5.1. ESTRUCTURA ESPACIAL DEL MALLADO.

En primer lugar, se ha definido el mallado sobre el que se realiza la modelización en MODFLOW y MT3D. Dicho mallado está orientado en dirección Norte, tomando como base para situarlo en el espacio el plano a escala 1:5000 (figura 13.4-1). En este plano la dirección Norte forma un ángulo de  $22,56^\circ$  con las edificaciones de la Central, por lo que se giró dicho plano  $22,56^\circ$ , tomando como centro de dicho giro el punto (1000,600), en coordenadas referenciadas, y (508.607,26 - 4.465.599,4 en coordenadas UTM). Mediante esta operación se consigue que las edificaciones de la Central queden paralelas al mallado (figura 13.3.1-1).

Este giro, realizado en el G.I.S., se ha aplicado también a las diferentes coberturas de datos generadas para la definición del modelo.

El modelo elegido es un modelo de dos capas, simulando los dos sistemas acuíferos identificados de características:

- Acuífero superior: acuífero libre. Su cota superior viene dada por la topografía de la zona, y calculada mediante la definición de un modelo digital del terreno a partir de las curvas de nivel del plano a escala 1:5000. Su cota inferior vendrá dada por la interfase existente entre el Cuaternario superior y Terciario inferior. Esta cota se calcula a partir de los datos existentes de esta interfase Cuaternario-Terciario, como son perfiles sísmicos y sondeos realizados, generándose una superficie de contacto entre ambos acuíferos.
- Acuífero inferior, acuífero confinado. Su cota superior viene dada por la superficie de contacto Cuaternario-Terciario. Su cota inferior se ha fijado en 530 metros para toda la extensión del acuífero.

El mallado se sitúa geográficamente con su esquina superior izquierda en coordenada UTM (509.307,4 - 4.466.272).

#### 13.5.2. DIMENSIONES DEL MALLADO.

Las dimensiones del mallado de ambos acuíferos son de 110 celdas en dirección Este-Oeste y 95 celdas en dirección Norte-Sur (figura 13.3.1-1). La dimensión de las celdas es variable, realizándose un mallado más fino (celdas de menor tamaño) en las zonas más cercanas al reactor y edificaciones (figura 13.3.1-2), y siendo más grosero en las zonas donde la influencia de la Central es menor y no es necesario conocer el flujo de agua con tanta precisión, mejorando así el tiempo de cálculo. La forma de estas celdas es prismático ya que la herramienta elegida para la



simulación (MODEFLOW) trabaja con un esquema en diferencias finitas centradas. La definición de dicho mallado es:

- Celdas por fila del mallado:
  - 7 celdas de longitud 48 metros.
  - 5 celdas de longitud 36 metros.
  - 4 celdas de longitud 24 metros.
  - 4 celdas de longitud 12 metros.
  - 3 celdas de longitud 12 metros.
  - 4 celdas de longitud 9 metros.
  - 57 celdas de longitud 6 metros, zona en la que se sitúa la Central y edificaciones.
  - 4 celdas de longitud 9 metros.
  - 4 celdas de longitud 12 metros.
  - 4 celdas de longitud 24 metros.
  - 4 celdas de longitud 36 metros.
  - 5 celdas de longitud 48 metros.
- Celdas por columna del mallado:
  - 64 celdas de longitud 6 metros, áreas que cubre toda la terraza aluvial de influencia directa de la central.
  - 4 celdas de longitud 9 metros.
  - 5 celdas de longitud 12 metros.
  - 5 celdas de longitud 18 metros.
  - 6 celdas de longitud 24 metros.
  - 6 celdas de longitud 36 metros.

### 13.5.3. DELIMITACIÓN DE LOS ACUÍFEROS IDENTIFICADOS.

Los dos acuíferos a modelizar serán los reflejados en la figura 13.5.3-1, tal y como anteriormente se ha definido:

- Un acuífero superior no confinado, que corresponderá a la primera capa del modelo. Sus límites en dimensión Z vendrán dados por la topografía de la zona a modelizar, como cota o límite superior y la superficie de contacto identificada entre Cuaternario y Terciario como cota inferior.
- Un acuífero inferior confinado que corresponde a la capa inferior del modelo definido. Su límite superior vendrá dado por la superficie de contacto entre Cuaternario y Terciario que era el límite inferior del acuífero superior, eligiéndose como límite inferior una cota fija para toda la capa de 530 m.

Esta cota inferior se eligió debido a que los sondeos realizados en la zona, incluso lo más profundos, identificaban en el terciario un gran zócalo de material arcilloso y por tanto prácticamente impermeable, no detectando el final de este estrato, por lo que se tomó como una capa homogénea de gran espesor. Este factor no influye en el funcionamiento del modelo, ya que a la vista de los resultados de la piezometría y del modelo, se puede asegurar la casi total independencia de los dos acuíferos identificados.

Las dos superficies que delimitan los acuíferos existentes en la zona: superficie topográfica (figuras 13.2.2.-2 y 13.5.3.-2) y superficie de contacto Cuaternario-Terciario (figuras 13.5.3-3 y 13.5.3-4), fueron generadas de la forma descrita en el Anexo 13.5.3-1.

Una vez introducidas las superficies topográfica y de contacto Cuaternario-Terciario en el modelo definido en MODFLOW, se realizó la modelización del año hidrogeológico objeto de estudio (Agosto 1996 a Julio 1997).

A la vista de los resultados obtenidos en esta modelización (ver calibración y análisis de sensibilidad en este mismo documento) se plantearon las siguientes consideraciones con respecto al modelo:

- El modelo responde a las variaciones de nivel piezométrico producidas por las recargas en los meses en los que estas existen (Noviembre 1996, Diciembre 1996 y Enero 1997).

Figura 13.5.3-1. Situación y delimitación de los acuíferos identificados.

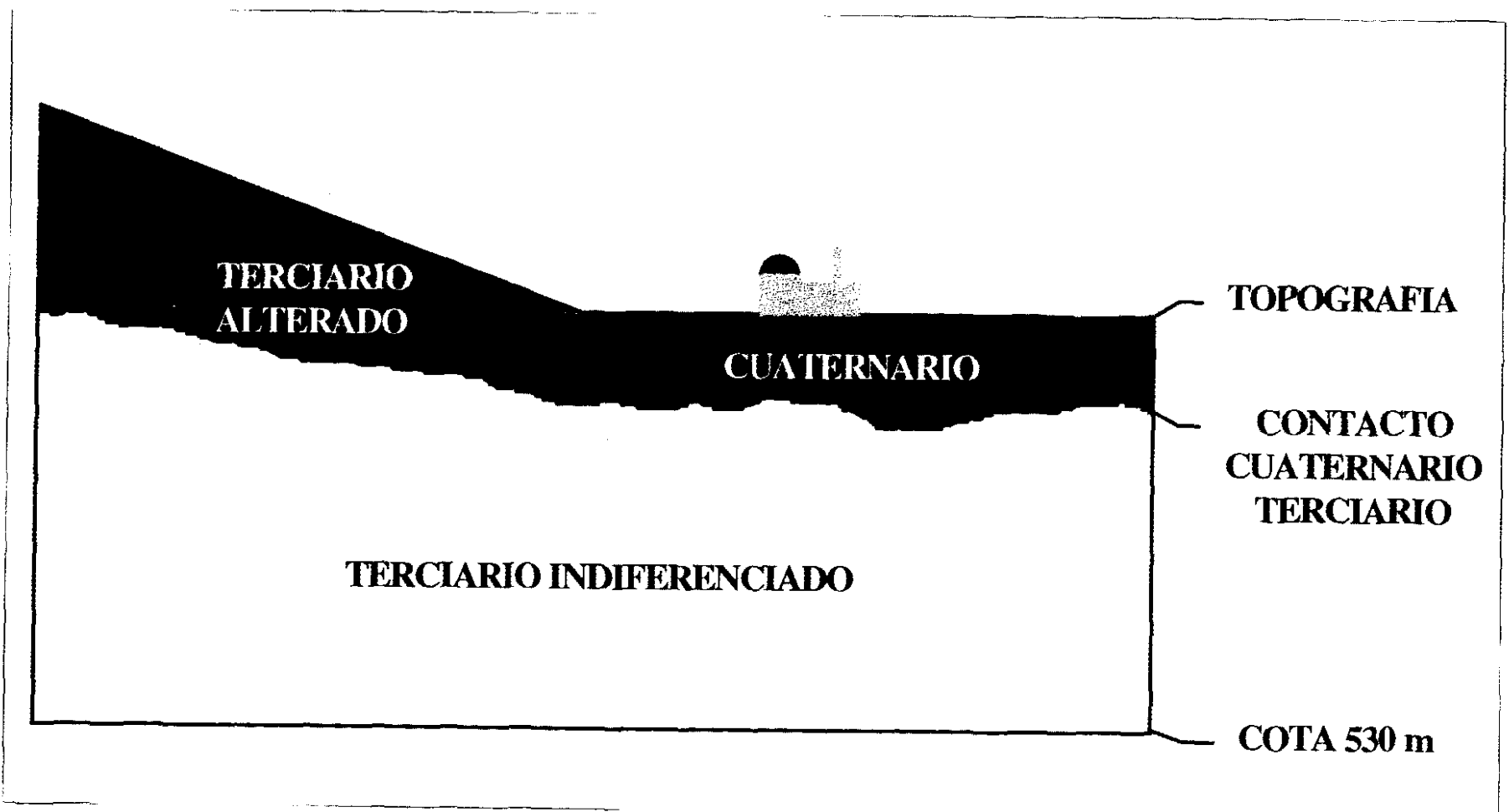


Figura 13.5.3-2. Topografía rasterizada del entorno de la Central Nuclear José Cabrera.



Figura 13.5.3-3. Superficie de contacto Cuaternario-Terciario con el paleocauce definido.

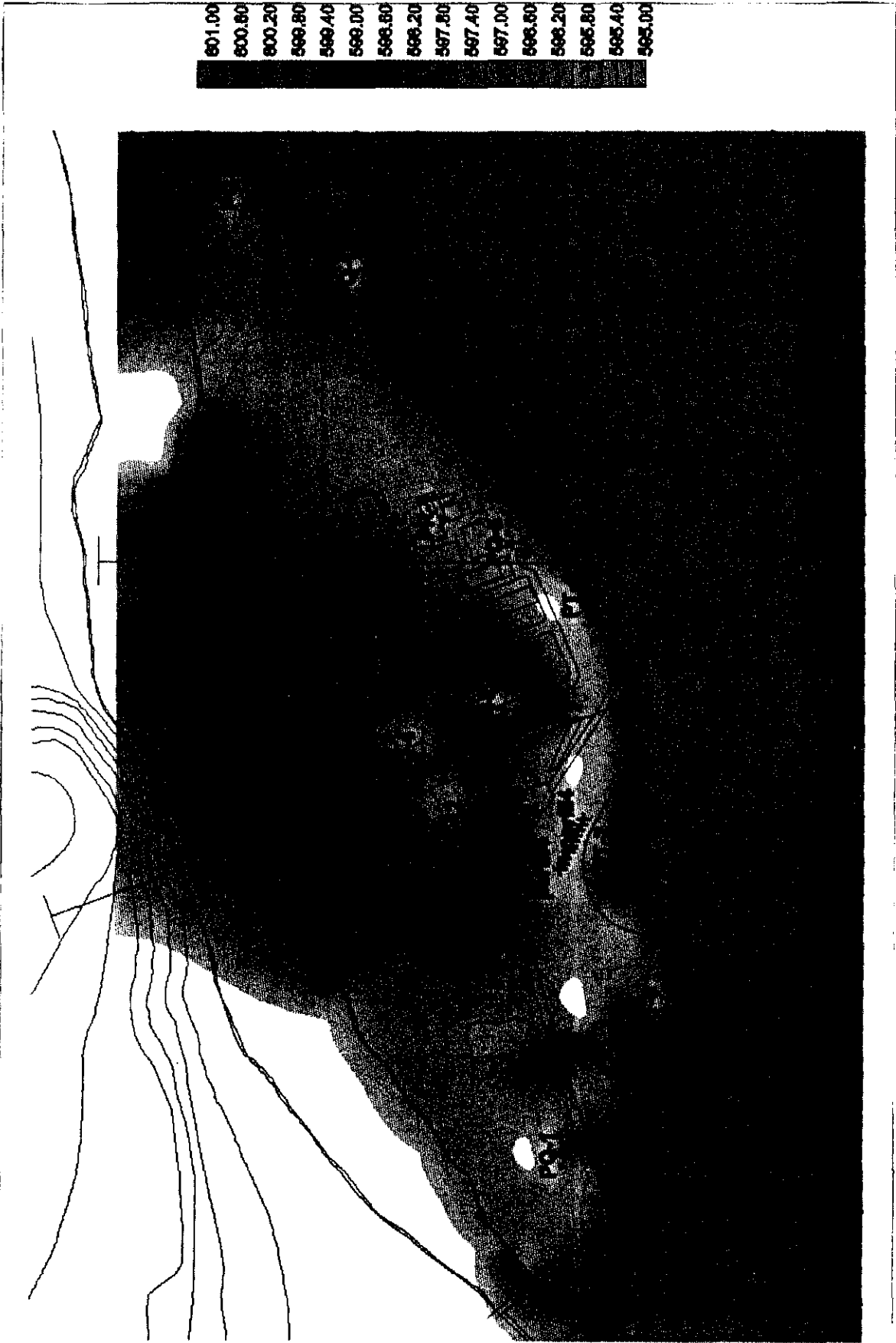
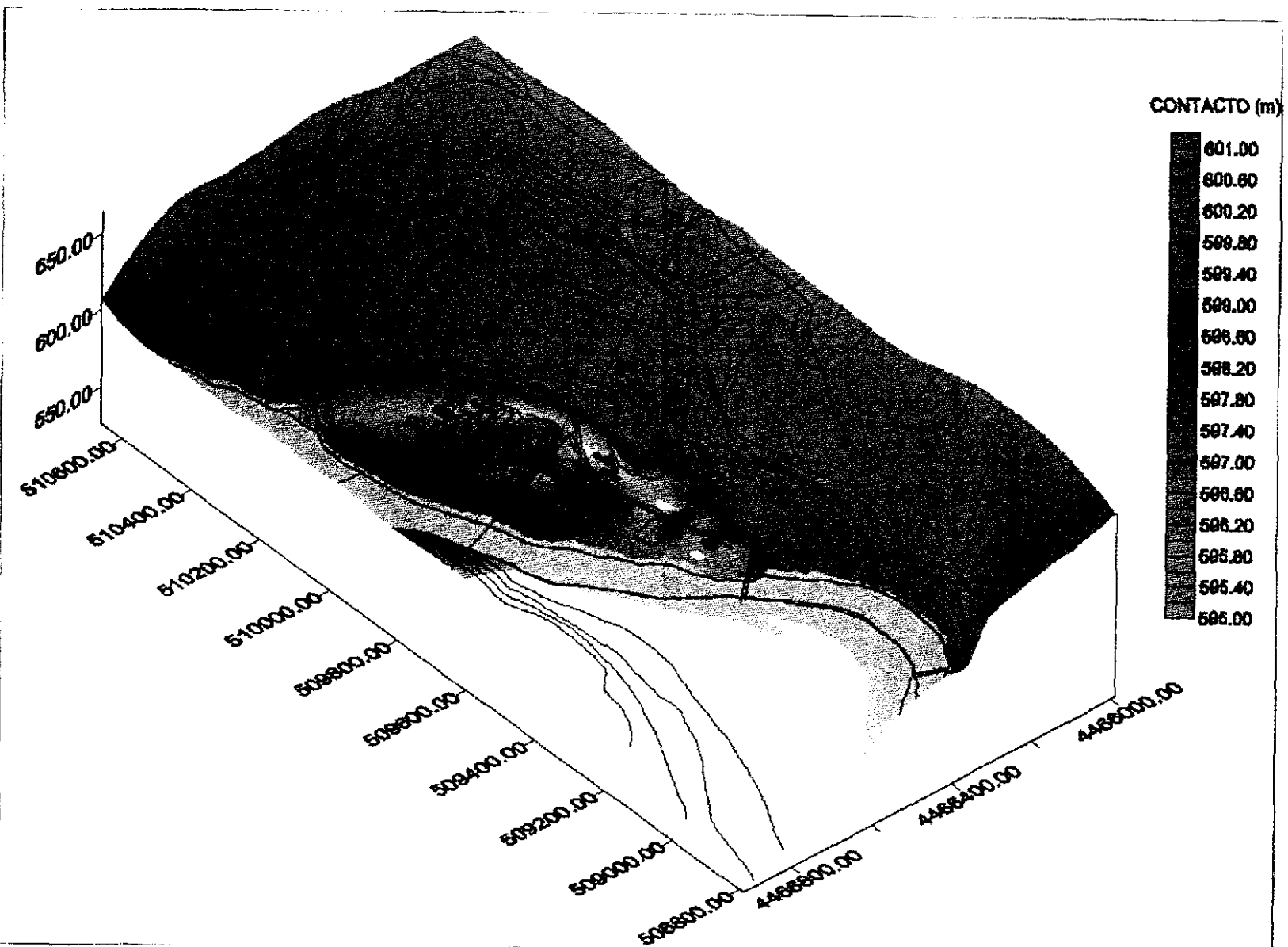


Figura 13.5.3-4. Imagen en tres dimensiones de la superficie de contacto Cuaternario-Terciario con paleocauce definido.



- La evolución del nivel piezométrico de los piezómetros que miden dicho nivel en el Cuaternario, situados en la terraza de la Central más próximos al río, tales como el PQ7 y PQ10, responden a la bajada producida durante el mes de Febrero en el embalse. Esto corrobora el hecho de la dependencia del funcionamiento del acuífero superior de la terraza con el nivel del río. Estos descensos obtenidos en la evolución del nivel de los piezómetros es coherente con los que se observan a la vista de las medidas realizadas en el seguimiento realizado durante el período estudiado.
- Los sondeos más alejados del río (PQ5, PQ9, PR2, etc) no ofrecen respuesta a la bajada del nivel del embalse. Sin embargo en la campaña de seguimiento realizada, en estos piezómetros si se produce un descenso del nivel similar al que se observaba en los pozos cercanos al río.

Ante estos resultados se llegó a la conclusión de que en el modelo matemático desarrollado hasta ese momento se producía un aislamiento de los piezómetros más alejados del río. Sin embargo, esto no parece ocurrir en la realidad, observada mediante las mediciones efectuadas durante el mismo período.

Esto produjo que fuera revisado el modelo matemático, ya que parecía estar mal definido. Para que los sondeos alejados del río tuvieran constancia del descenso producido en el mismo, se debía aumentar la transmisividad del acuífero, ya que la transmisividad se obtiene como el producto del espesor del acuífero por la permeabilidad del mismo. Por esta razón el modelo se revisó en dos direcciones principales:

- Modificando la permeabilidad del material cuaternario; dando a dicha permeabilidad un valor mayor que permita la comunicación del río con el acuífero aluvial.
- Revisando la superficie de contacto; de forma que se produzca la respuesta adecuada de los piezómetros alejados del río al aumentar el espesor del acuífero.

En un principio se optó por la primera opción. Se realizó un análisis de sensibilidad del modelo, dando diferentes valores de permeabilidad al acuífero superior o Cuaternario. En este análisis no se observaron respuestas al descenso del río por parte de los sondeos más alejados en ningún caso.

Con los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad realizado, se consideró adecuado redefinir la superficie de contacto, ya que se llega a

valores de permeabilidad de 50 m/día sin obtener la respuesta adecuada a los piezómetros.

Para obtener certeza de la mala definición de la superficie de contacto se hizo una nueva modelización situando la interfase Cuaternario-Terciario como una superficie plana con cota 596 m. Realizada la modelización se obtiene respuesta al descenso del nivel del embalse en Febrero de 1997 en todos los sondeos situados en la terraza de la Central, por lo que se confirmó que el problema existente es un problema de definición geométrica de la superficie de contacto Cuaternario-Terciario.

Esto parece justificarlo el hecho de que con la información recogida para la generación de la superficie de contacto, se producen la meseta anteriormente comentada en la zona de edificaciones de la Central y las depresiones del área alejada del río y de las zonas situadas hacia el Este y Suroeste de dicha meseta (Figura 13.5.3-5).

Estos dos factores son los que producen que no haya comunicación con el río de los piezómetros situados hacia el Sur de la Central, en el modelo definido, ya que la meseta hace de barrera de agua desde la ladera hacia el río.

Por tanto, si en realidad la respuesta de los piezómetros si se produce, la comunicación del río con la zona más al Sur del modelo debe existir de alguna forma. Viendo la superficie de contacto generada con la meseta y las depresiones existentes (figura 13.5.3-5), los resultados de la campaña de análisis físico-químico y radiológicos efectuados, así como el plano de izopiezas (figuras 13.5.3-6 y 13.5.3-7) del día de máximo descenso del nivel del embalse (12 de febrero de 1997; nivel del pantano: 597.57 m) según las mediciones efectuadas en las diferentes piezómetros de la terraza (medidas efectuadas en la fecha más próxima al día de máximo descenso: 15 de febrero de 1997); parece entreverse que la comunicación se produce por los lados de la Central hacia el Este y Oeste de la misma. Esto significará la existencia de un antiguo paleocauce del río Tajo en la terraza de la Central por el que los piezómetros más alejados del río tendrían comunicación con el mismo, y que solo se habría observado en los perfiles sísmicos que coinciden con la zona en la que éste existe (las anteriormente comentadas depresiones de las zonas Este y Sudeste de las edificaciones de la Central).

Para definir totalmente este antiguo paleocauce se tomaron una serie de medidas:

- Se revisaron todos los datos del contacto existentes, tales como las diagrfías de los sondeos, perfiles, etc.



Figura 13.5.3-5. Superficie de contacto generada con datos iniciales.



Figura 13.5.3-6. Interpolación de las medidas en los piezómetros el día 15 de Febrero de 1997 (día de máximo descenso del nivel del embalse).

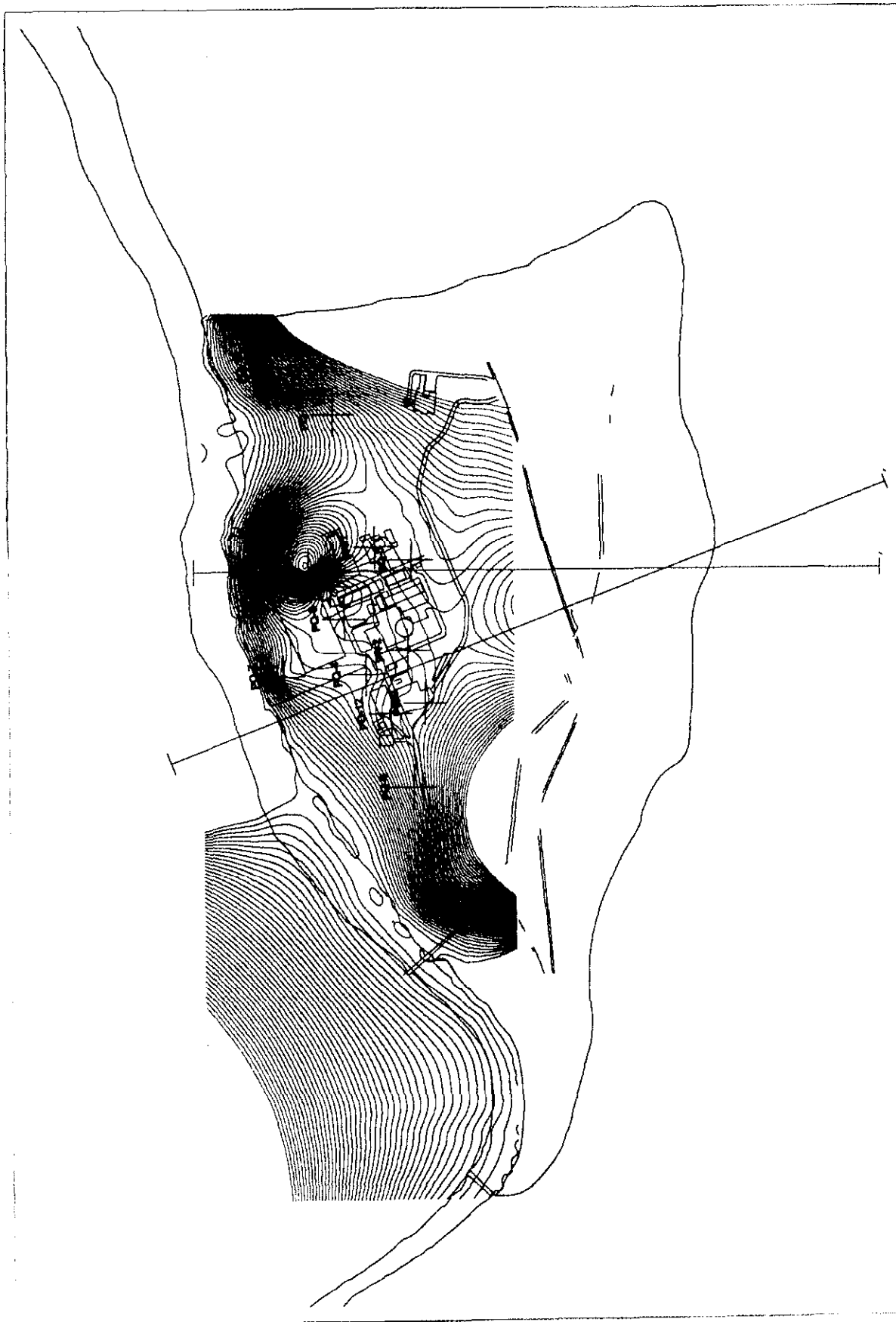


Figura 13.5.3-7. Zoom de isopiezas obtenidas mediante interpolación de las medidas en los piezómetros el día 15 de Febrero de 1997 (día de máximo descenso del nivel del embalse).

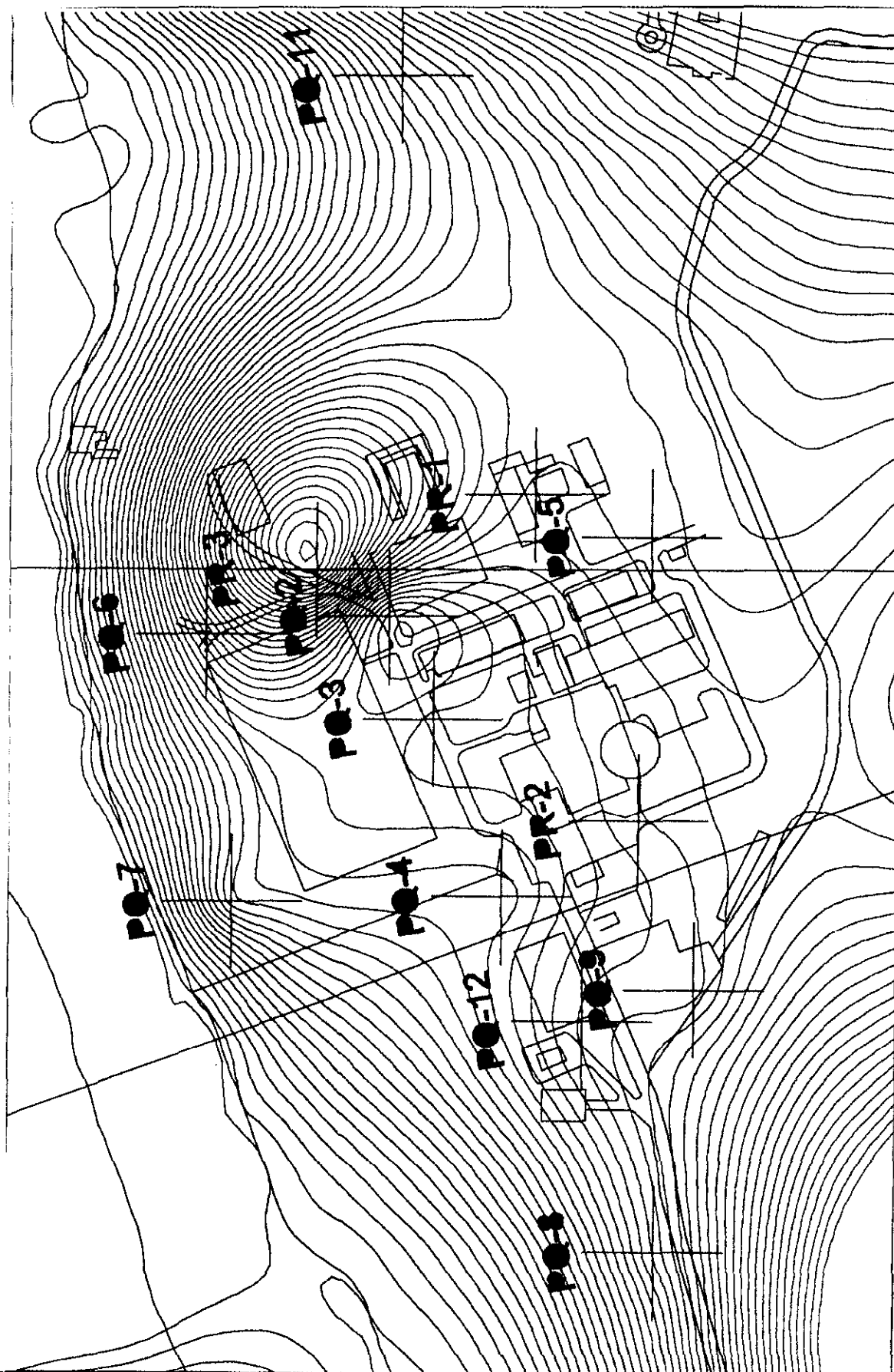
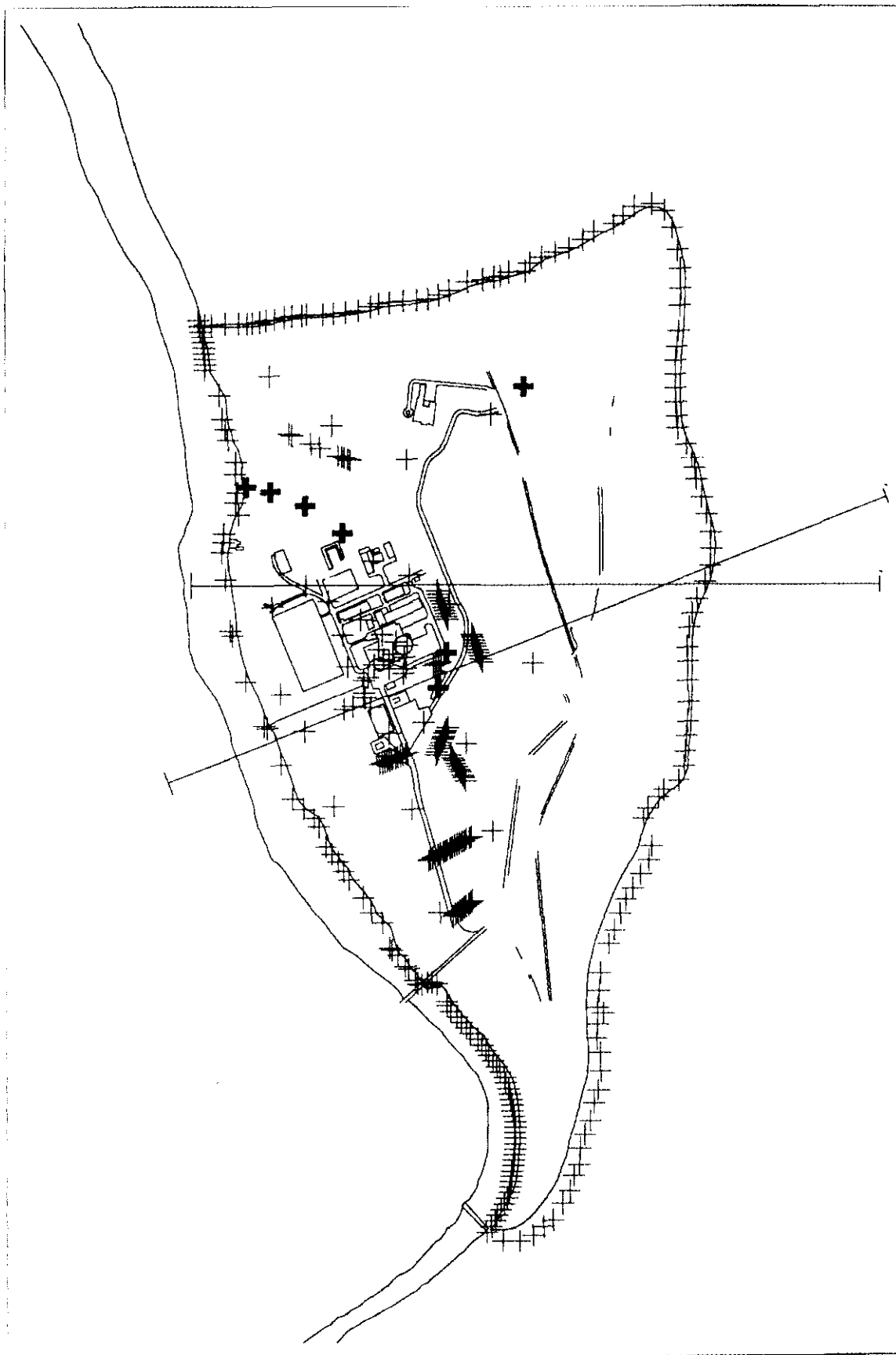


Figura 13.5.3-8. Datos iniciales de la superficie de contacto y puntos añadidos para la definición del paleocanal.



- Se tomaron una serie de puntos con cota 595.5 en el entorno de las depresiones detectadas (figura 13.5.3-8). Estos puntos producen la unión de las tres depresiones que se producían en la primera superficie de contacto obtenida. Esta cota de 595.5 se tomó ya que es la que aparece en las depresiones producidas en la superficie de contacto generada con los datos iniciales y que se supone que pertenecen al paleocauce que se intenta definir.
- La cota de los puntos situados en el límite de la terraza con el río y que marcan el contorno del modelo fueron revisados. Así los puntos pertenecientes a este grupo y que se encuentran a continuación hacia el río de lo que sería el paleocauce, bajaron su cota de 597.8, cota tomada para todo el contacto río-terrazza, hasta los 595.5, cota elegida como válida para las áreas pertenecientes al paleocauce. La bajada de estos puntos permitió que el paleocauce, y por tanto las zonas más alejadas del río, quedaran abierto al río y tenga comunicación con el tanto aguas arriba como aguas debajo de la Central.

Incorporando estas modificaciones en la información existente sobre el contacto se realizó una nueva interpolación por el método de la Mínima curvatura, obteniéndose la superficie que se puede observar en las figuras (13.5.3-3 y 13.5.3-4) en las que aparece claramente definido el posible paleocauce existente en la terraza.

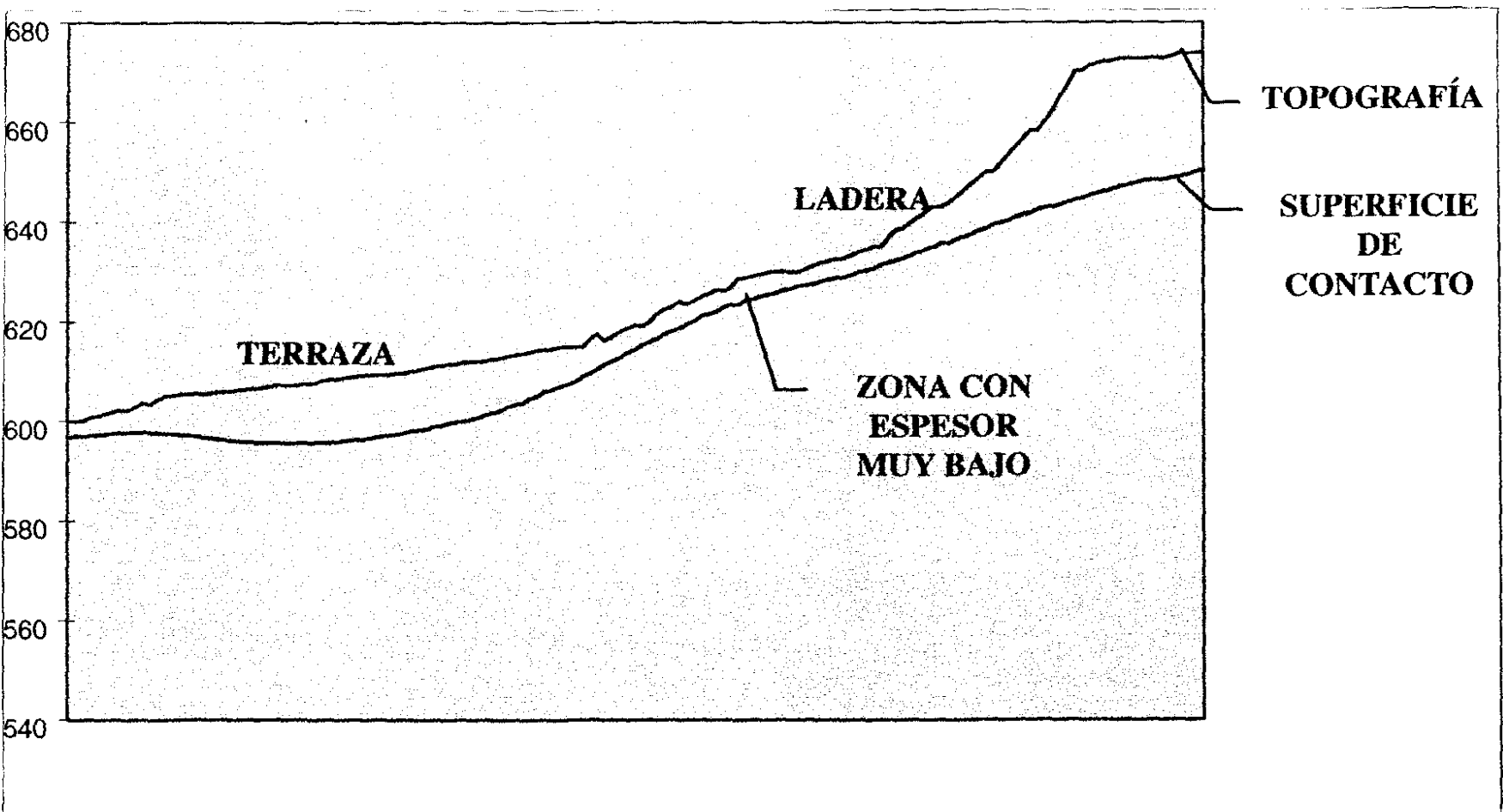
Con esta superficie se realiza una nueva modelización, obteniéndose respuesta de todos los piezómetros al descenso producido en el embalse durante el mes de febrero por lo que parece corroborarse las hipótesis de que la superficie de contacto tomada en un primer momento era incorrecta y de la existencia del paleocauce.

Sin embargo, en las isopiezas calculadas por el modelo (figura 9b del Anexo 13.5.3-2) en la zona de la terraza y la evolución de los niveles en los diferentes piezómetros en el período agosto 96 - julio 97 (figura 9ª del Anexo 13.5.3.-2), se observa:

- El nivel obtenido para los sondeos del Cuaternario en el modelo, etiquetados como PQ#, es inferior al nivel real en dichos sondeos en el seguimiento realizado durante el período de estudio.
- En la zona de ladera situada inmediatamente al Sur del paleocanal definido en la terraza se observa un área "seca". Esto se debe a que el nivel piezométrico calculado por el modelo en esta zona es menor que la cota definida para la superficie de contacto Cuaternario-Terciario en dicho modelo (figura 9b de Anexo 13.5.3.-2).

Con estos resultados se dedujo que la ladera del Terciario alterado definida en la capa superior del modelo y la zona de terraza quedaban independizadas entre sí por esta área seca que impedía que el agua infiltrada en la zona alta de ladera, que debería percolar hasta la terraza, llegara a dicha terraza, ya que el flujo quedaba interrumpido, debido probablemente a un espesor demasiado pequeño en la zona de ladera (figura 13.5.3-9).

Figura 15.5.3-9. Corte transversal de la topografía y superficie de contacto del modelo.



Para corroborar ese hecho se hicieron cortes en dirección transversal a la terraza, en dirección Sureste-Noroeste. Estos cortes se realizaron en el G.I.S. sobre las coberturas de topografía del área y sobre la superficie generada de interfase Cuaternario-Terciario.

En dichos cortes (figura 13.5.3-9) se observa, cómo en la zona de la ladera inmediatamente superior al paleocanal existe un área en la que el espesor del acuífero superior es mucho menor que en el resto, lo que impide el flujo de agua, como se ha comentado anteriormente.

Por otro lado, la situación de la superficie de contacto Cuaternario-Terciario en el área de ladera está sujeta a una gran incertidumbre, ya que los únicos datos reales que se tienen de ese contacto en dicha zona son los sondeos realizados para instalar los sondeos terciarios PT1 y PT6, en los que se tienen espesores importantes del acuífero superior. En el sondeo PT1 aparecieron los primeros estratos de Terciario indiferenciado aproximadamente a 16 m de profundidad, apareciendo este Terciario indiferenciado en el sondeo PT6 aproximadamente a los 9,5 m habiéndose generado esta superficie en la zona de la ladera y en el contorno del modelo con una extrapolación lineal a partir de los datos existentes en la terraza.

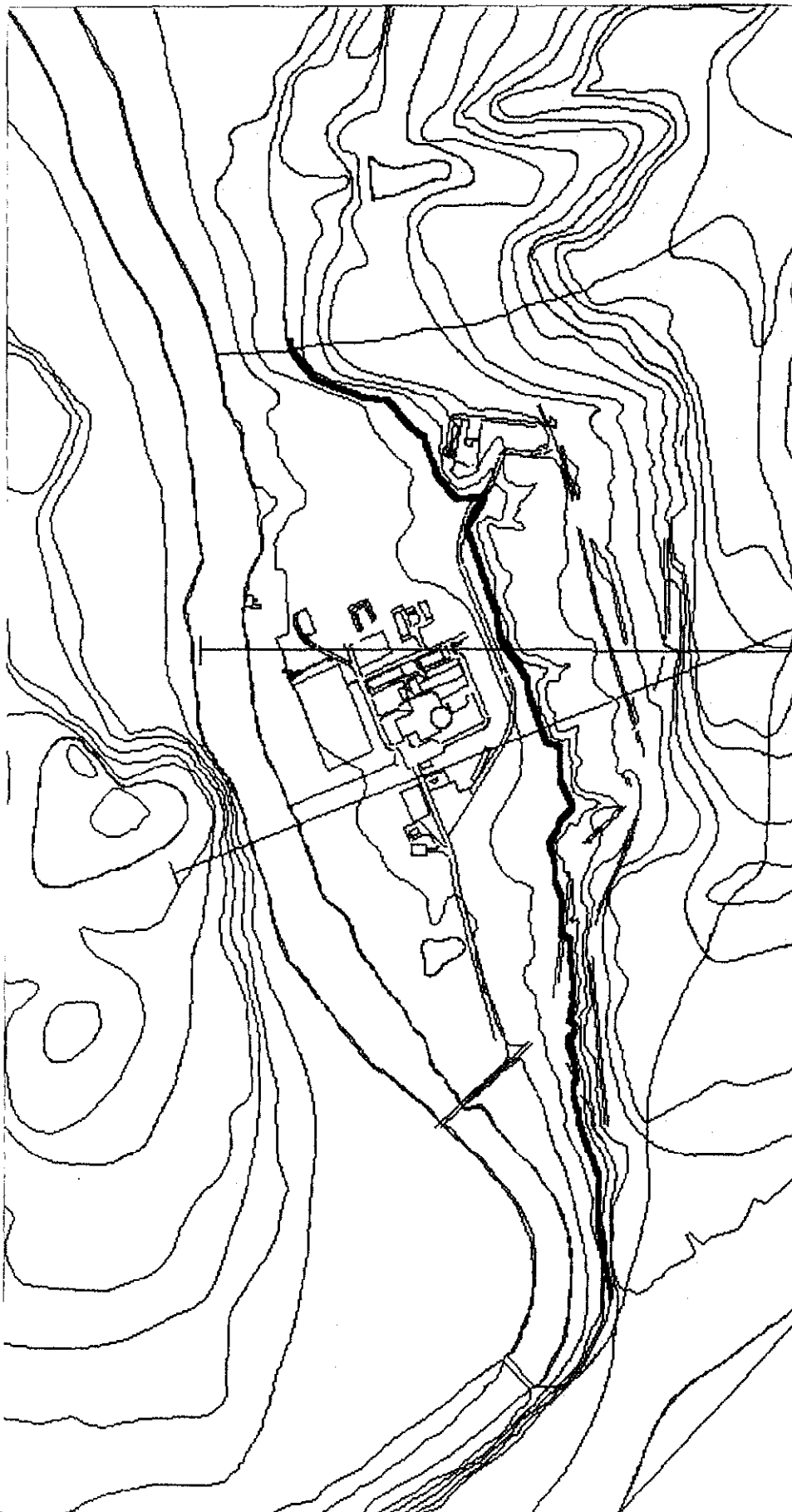
Estos dos hechos provocaron un nuevo planteamiento de la superficie de contacto, generando una nueva a partir de las siguientes hipótesis:

- En la zona de la terraza, donde está ubicada la Central, se tomaron, para la generación de la superficie, los datos existentes tanto de los sondeos, como de los perfiles sísmicos realizados.
- En esta zona de la terraza, se mantuvieron los cambios realizados, ya comentados anteriormente, que producían la existencia del paleocauce que permite la comunicación del río con la zona más alejada de la terraza.
- En la zona de la ladera se dio un espesor constante a todo el acuífero superior.

En primer lugar se estableció un límite claro entre la zona en la que se utilizaron datos reales (terrazza) y la zona en la que se dio un espesor fijo (ladera). La definición de la delimitación física de estas dos áreas es especialmente importante debido a la gran heterogeneidad de la topografía y superficie de contacto Cuaternario-Terciario. Por esta causa, se eligió como frontera la curva de nivel de cota 615 m cuyo valor es constante, lógicamente, para todo el área del modelo (figura 13.5.3-10).



Figura 13.5.3-10. Separación Terraza-Ladera elegida, curva de nivel de 615 metros.



Para la nueva interpolación de la superficie de contacto en la zona de terraza, se tomó toda la información que se tenía de la misma (sondeos y perfiles sísmicos) y la curva de nivel, anteriormente citada, digitalizada en el G.I.S. y con cota 615 metros, menos el espesor medio (13 m) de los dos sondeos existentes en la ladera (PT1 y PT6). Lógicamente se obviaron todos los datos exteriores a esta área como eran todos los puntos generados para definir el contorno del modelo y los valores de los propios sondeos PT1 y PT6 antes citados, quedando finalmente los datos como se ve en la figura 13.5.3.-11.

Por otro lado se generó esta nueva superficie de contacto en la zona de la ladera. Para ello se eligió en el G.I.S. la cobertura correspondiente a la topografía del entorno. A esta cobertura se le "recordó" el área que comprende la terraza, es decir se cortó la zona situada desde el río hasta la curva de nivel de 615 m digitalizada anteriormente. Con esto se obtuvo una cobertura con el valor de la topografía en el entorno del modelo menos en la zona de terraza, en la que tiene un valor 0. Una vez obtenida esta nueva imagen se le restó, salvo en la zona de terraza, el valor medio del espesor calculado (13 m) para la ladera con PT1 y PT6.

Una vez generadas las dos coberturas se sumaron resultando así una superficie con la interpolación de los datos reales en la terraza y el espesor medio elegido en la ladera.

Observando el corte representado en la Figura 13.5.3-12, se puede comprobar como la elección de una curva de nivel, en este caso la correspondiente a la cota 615 m., como separación de la zona de la ladera y terraza es muy importante, ya que la elección de esta separación permite que en las dos zonas límite, el límite al Sur de la terraza y al Norte de la ladera, la cota de la superficie de contacto sea la misma con lo que al "unir" ambas superficies no se produce ningún tipo de irregularidad o discontinuidad entre ellas.

Figura 13.5.3-11. Datos tomados para generar la superficie de contacto en el área de terraza.

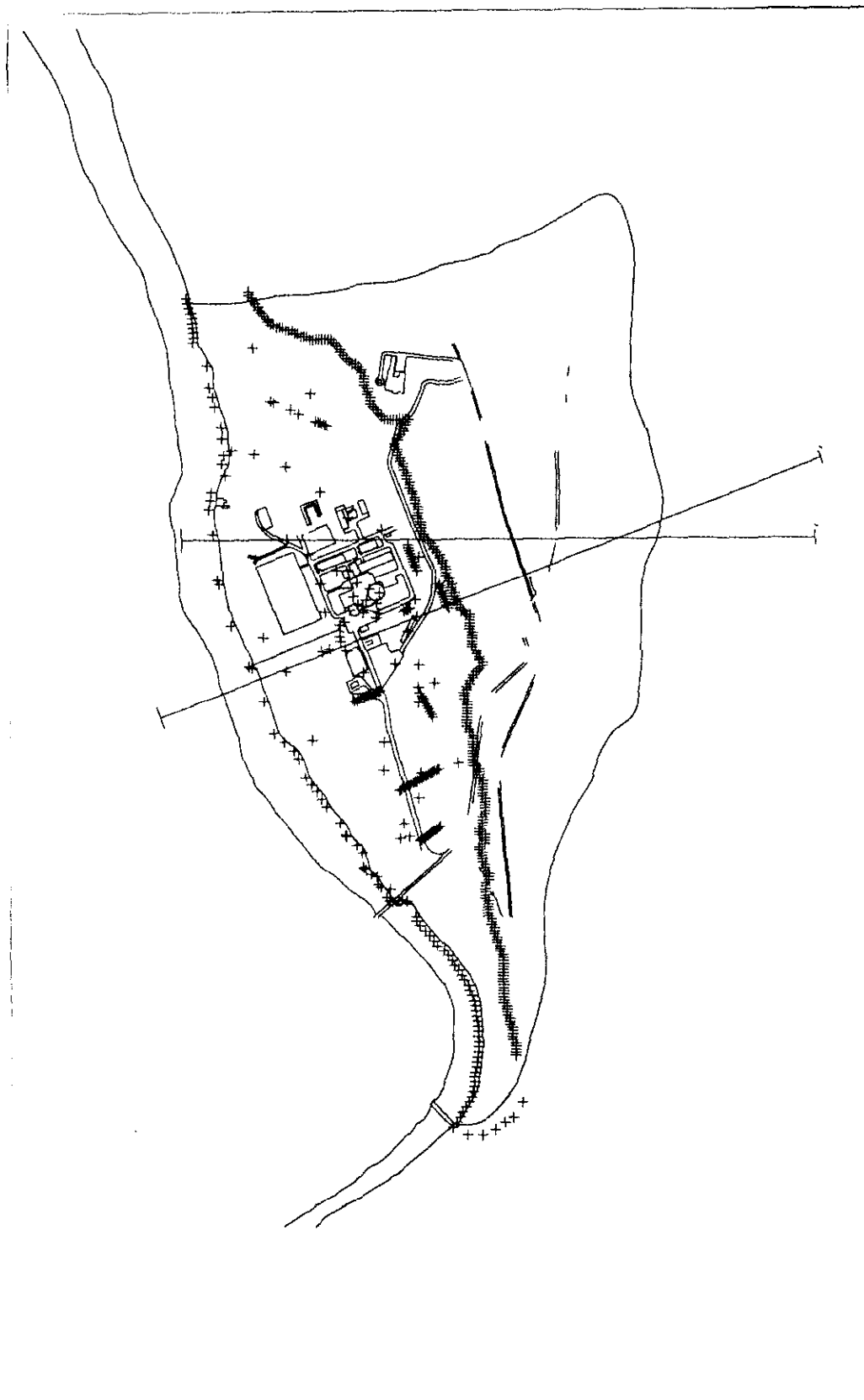
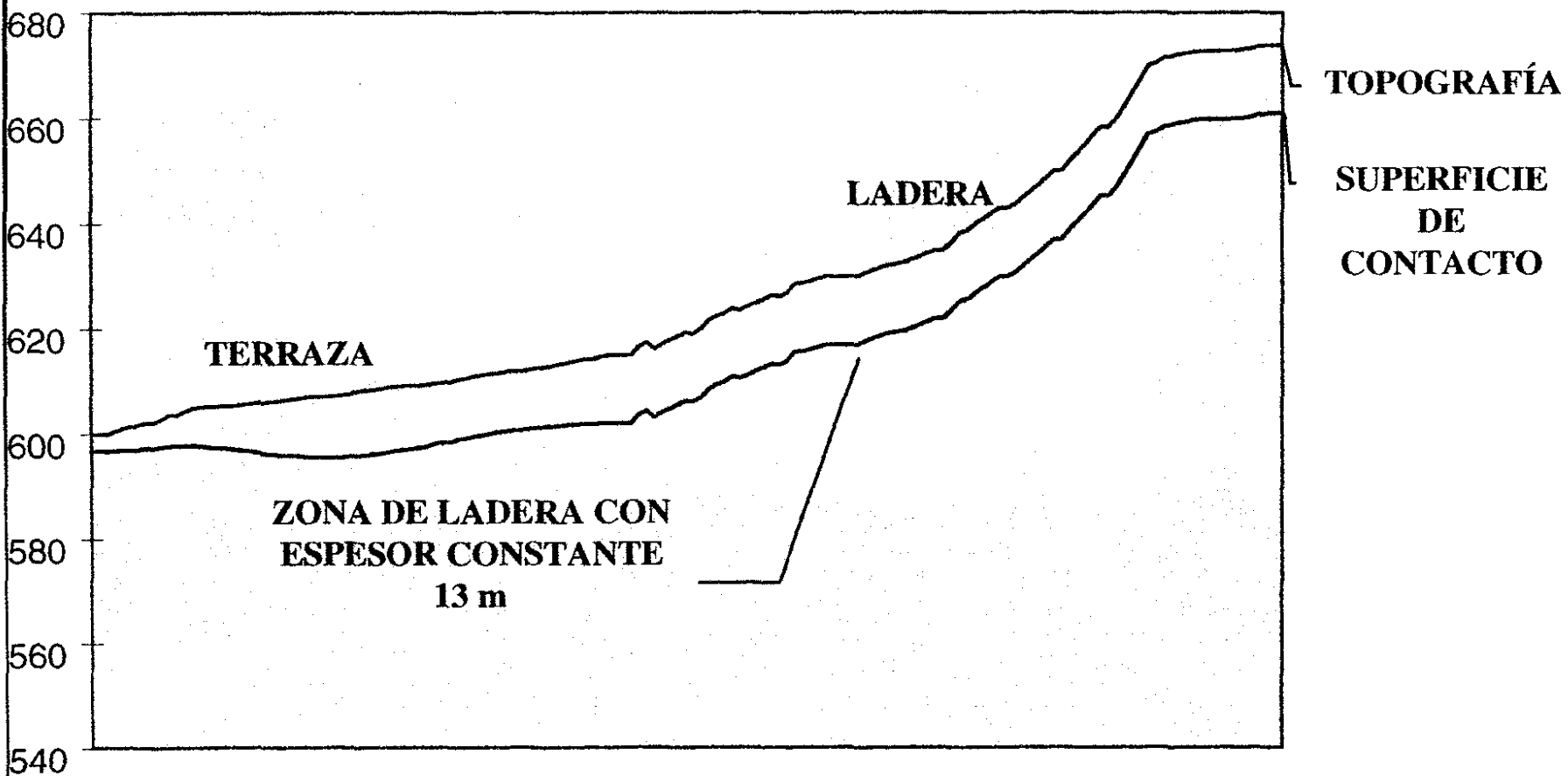


Figura 13.5.3-12. Corte transversal con la superficie de contacto Cuaternario-Terciario con espesor constante 13 m en ladera.



#### 13.5.4. MALLADO Y CONDICIONES DE CONTORNO.

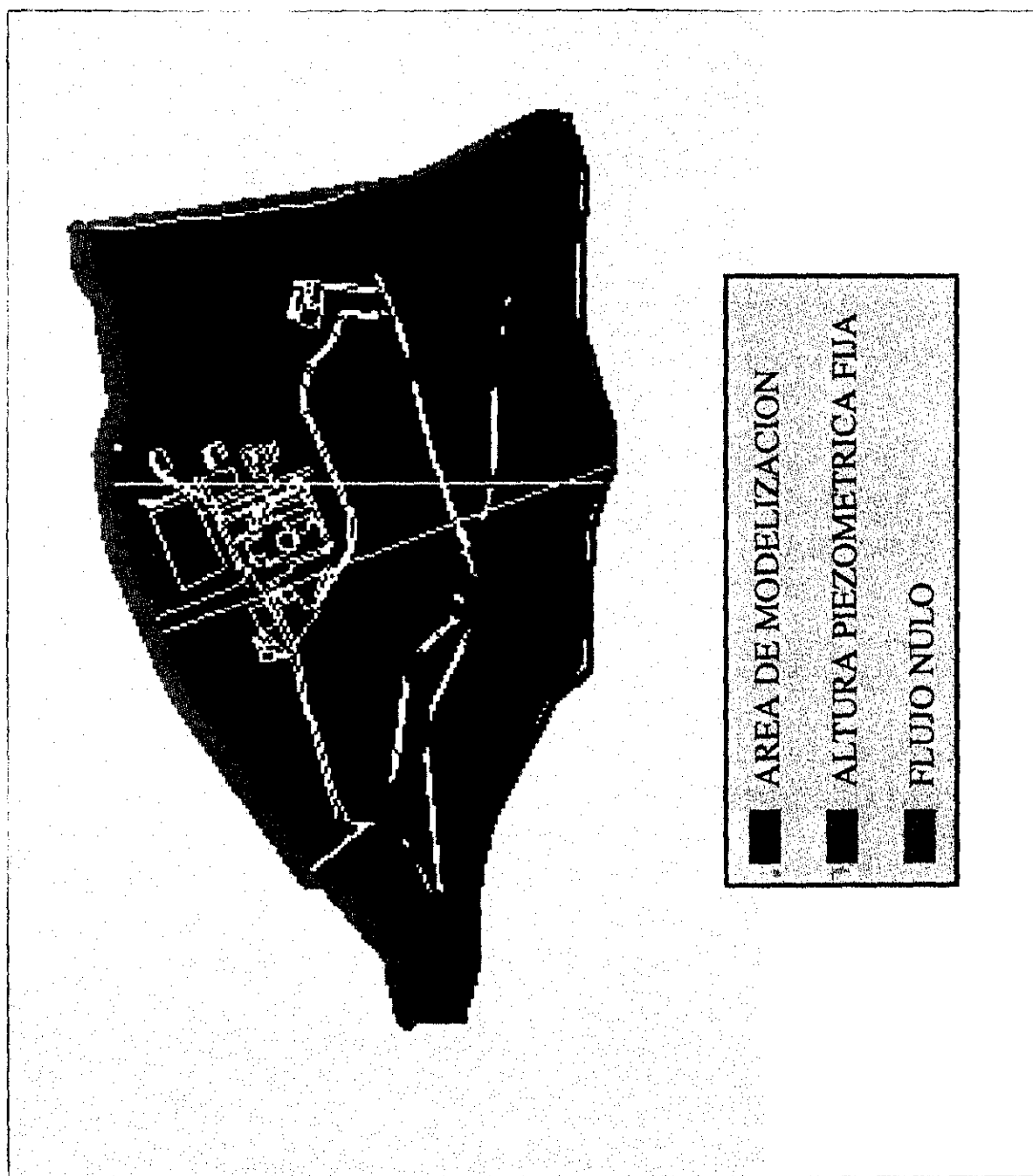
Del total de las 21.000 celdas definidas en el modelo, se consideran tres tipos (figura 13.5.4.-1).

- **Celdas activas:** Son las celdas sobre la que se realiza la modelización y cubren el área definida como área del modelo.
- **Celdas inactivas:** Celdas exteriores al área de modelización, el modelo las considera inactivas y sobre ellas no se realizan cálculos. En el caso de que fueran en algún momento requeridas para el cálculo, por realizar un refinado en alguna zona particular, estas celdas pueden redefinirse como activas.
- **Celdas de condición de contorno:** Celdas definidas como condición de altura piezométrica fija.
- En el lado Norte del modelo se define la altura piezométrica fija correspondiente a nivel del embalse de Zorita. Este embalse se consideró con altura fija para el modelo estacionario con cota 600 m, altura que se estima es la habitual en el embalse de cara a tener una correcta refrigeración de la Central.

Período de tiempo	Altura del Embalse (m)
1 Agosto 1996 - 6 Febrero 1997	600
7 Febrero 1997	599.80
8 Febrero 1997	599.56
9 Febrero 1997	597.78
10 Febrero 1997	597.67
11 Febrero 1997	597.61
12 Febrero 1997	597.57
13 Febrero 1997	597.58
14 Febrero 1997	597.85
15 Febrero 1997	597.79
16 Febrero 1997	597.86
17 Febrero 1997	599.02
18 Febrero 1997	599.78
19 Febrero 1997	599.91
20 Febrero 1997 - 31 Julio 1997	600.00

Tabla 13.5.4.-I. Cota del embalse definida para cada período de tiempo en el modelo.

Figura 13.5.4-1. Condiciones de contorno del modelo.



Cuando se realizó el modelo del año hidrogeológico (Agosto 1996-Julio 1997), la condición del contorno de altura piezométrica fija fue cambiada. Esto se realizó para tener la posibilidad de hacer frente a los cambios que pudieran producirse en el nivel del embalse. Durante dicho período y más concretamente en el mes de Febrero de 1997 se produjo una bajada en el nivel del pantano debido a la necesidad de realizar una operación de mantenimiento en la presa de Zorita, aguas abajo. Para la simulación de este descenso el lado que se había considerado como altura piezométrica fija se definió como de altura fija en cada período de tiempo pero variable de un período a otro, definiéndose finalmente estos períodos de tiempo tal y como se detallan en la tabla 13.5.4-I.

### 13.6. PROPIEDADES HIDROGEOLÓGICAS.

Las propiedades hidrogeológicas, como son permeabilidad, transmisividad, porosidad, coeficiente de almacenamiento y permeabilidad vertical; se definen para cada una de las dos capas que constituyen el modelo en base a los datos expuestos anteriormente.

#### 13.6.1. PERMEABILIDAD.

En la capa superior del modelo se han considerado tres tipos de materiales (figura 13.6.1-1) como son:

- **Cuaternario:** Su valor de permeabilidad es el mayor del modelo definido. Para su determinación a partir del intervalo dado en el modelo conceptual, se hizo un análisis de sensibilidad encontrando los valores óptimos en el intervalo superior de permeabilidad. La elección de valores muy grandes de permeabilidad para este material responden tanto a los componentes que conforman este estrato, como el hecho de que el funcionamiento del acuífero superior está muy influenciado por el nivel del río.
- **Terciario Alterado:** El Terciario alterado tiene una permeabilidad intermedia entre la dada para el Cuaternario (muy permeable) y la dada para el Terciario sano. Esta zona se sitúa en la parte superior de la ladera situada al Sur de la Central.
- **Zona Impermeable:** Como zonas impermeables se consideran las cimentaciones de las edificaciones de la Central. De todas las cimentaciones existentes se toman como impermeables para todo el espesor de la capa superior aquellas que se incrustan en el Terciario. Estas zonas corresponden con el edificio del reactor y las torres de refrigeración (figuras 13.6.1-2 a 13.6.1-7). Su valor de permeabilidad es lógicamente muy bajo al estar constituidas por hormigón, tomándose en el modelo una permeabilidad del orden de  $10^{-8}$  m/día.

Por su parte, la capa inferior del modelo se considera homogénea. Esta capa corresponde al Terciario sano formado por matriz arcillosa siendo bastante bajo, del orden de  $10^{-4}$  m/día.

#### 13.6.2. TRANSMISIVIDAD.

El valor de la transmisividad se obtiene como el producto de la permeabilidad por el espesor.



Figura 13.6.1-1. Permeabilidad en la capa superior del modelo.

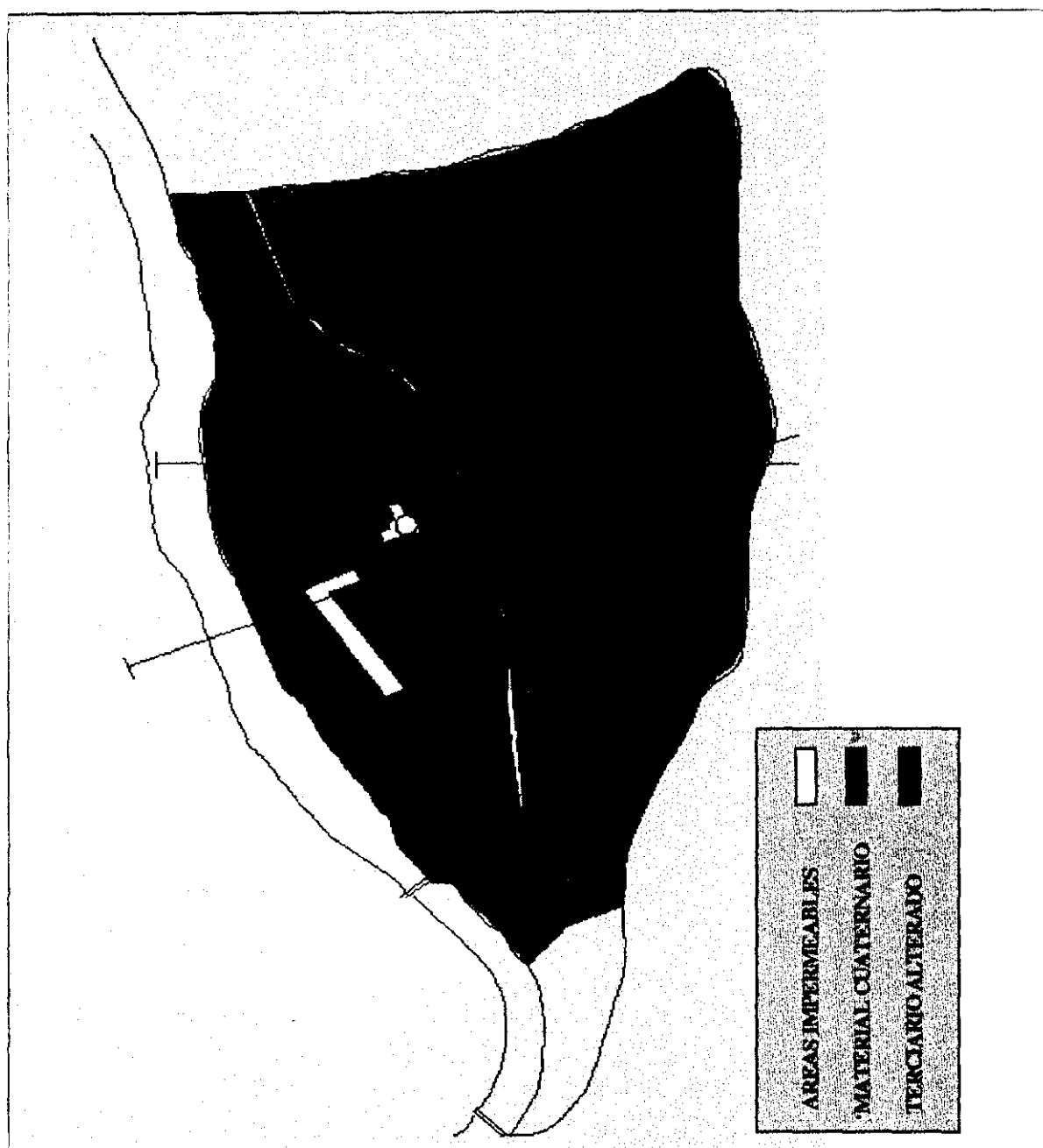


Figura 13.6.1-2. Secciones realizadas en las cimentaciones de las edificaciones de la Central.



Figura 13.6.1-3. Vista de la Sección 1.

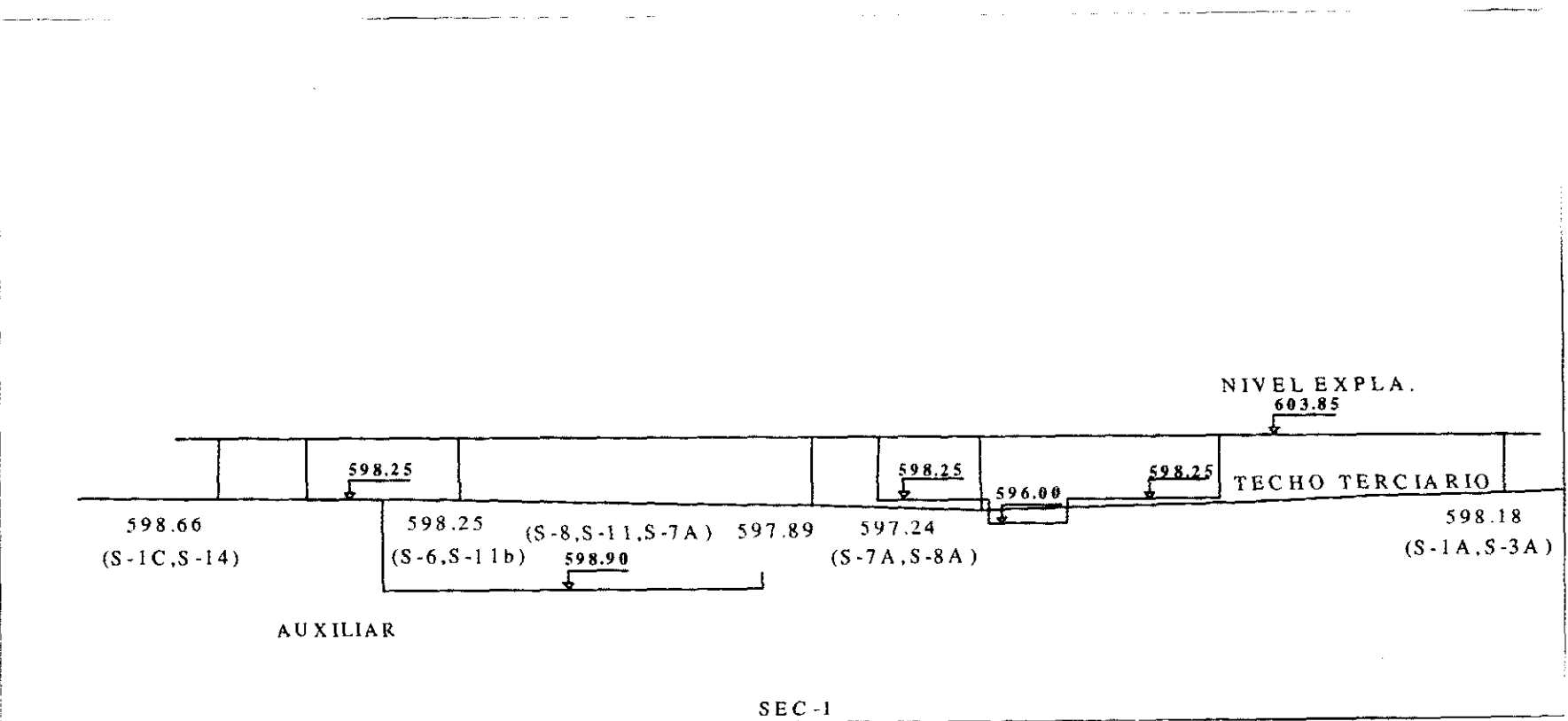


Figura 13.6.1-4. Vista de la Sección 6.

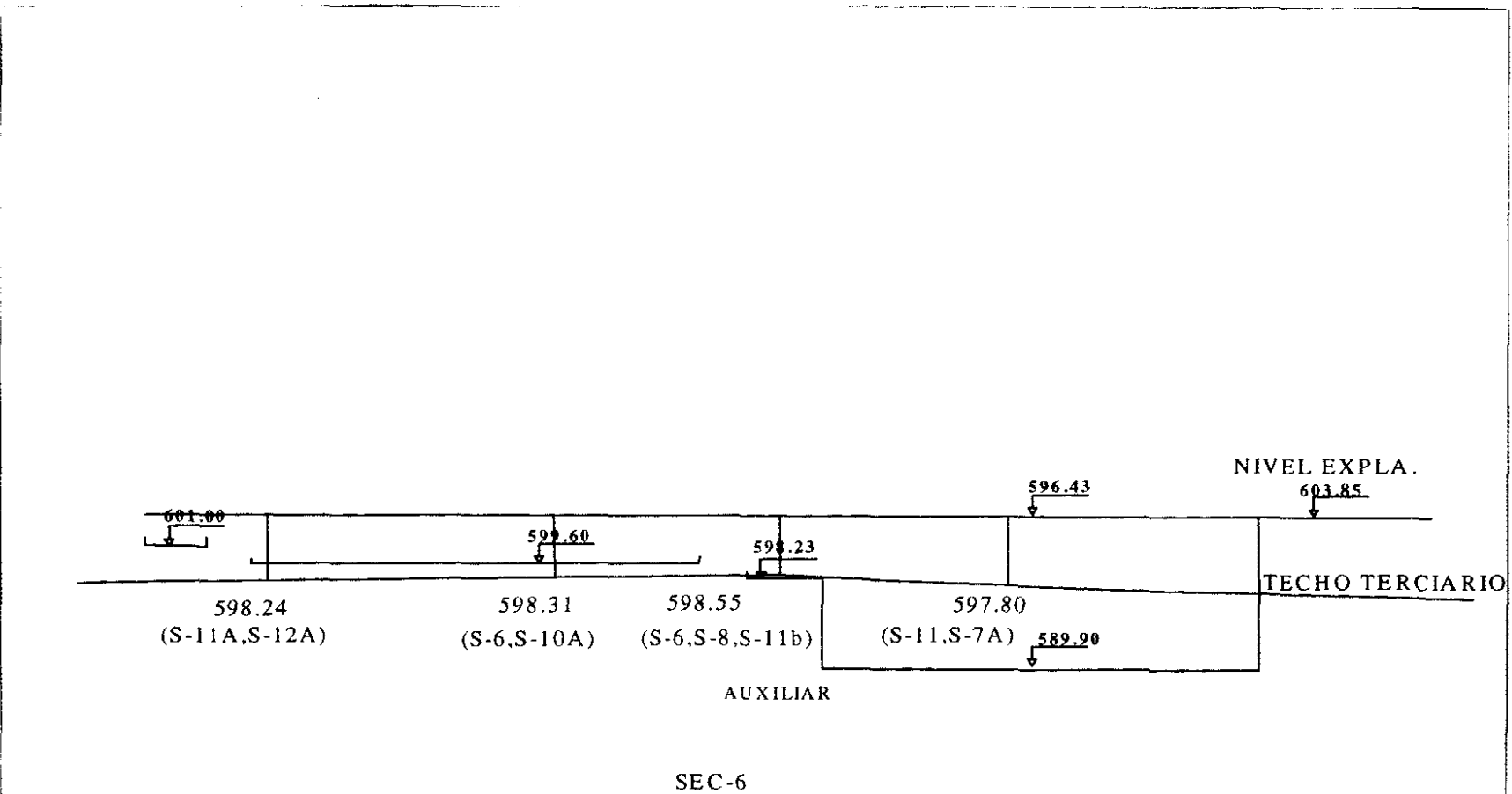


Figura 13.6.1-5. Vista de la Sección 9.

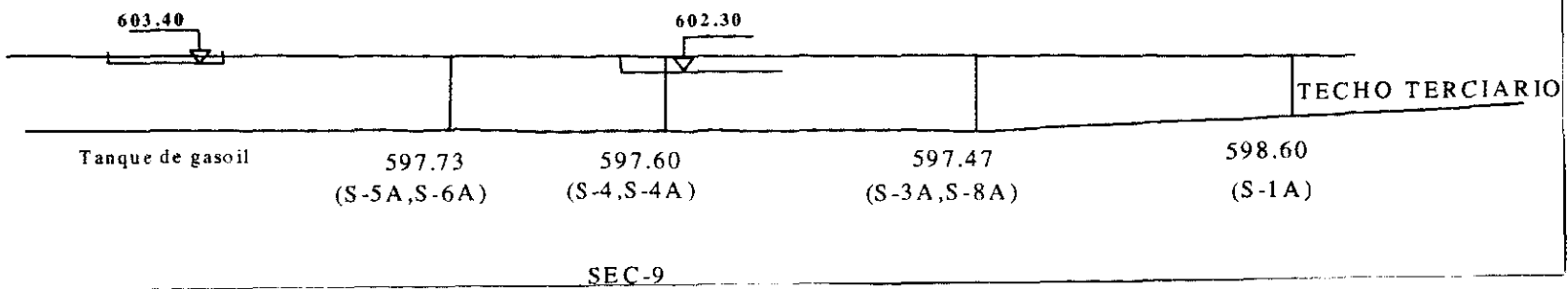
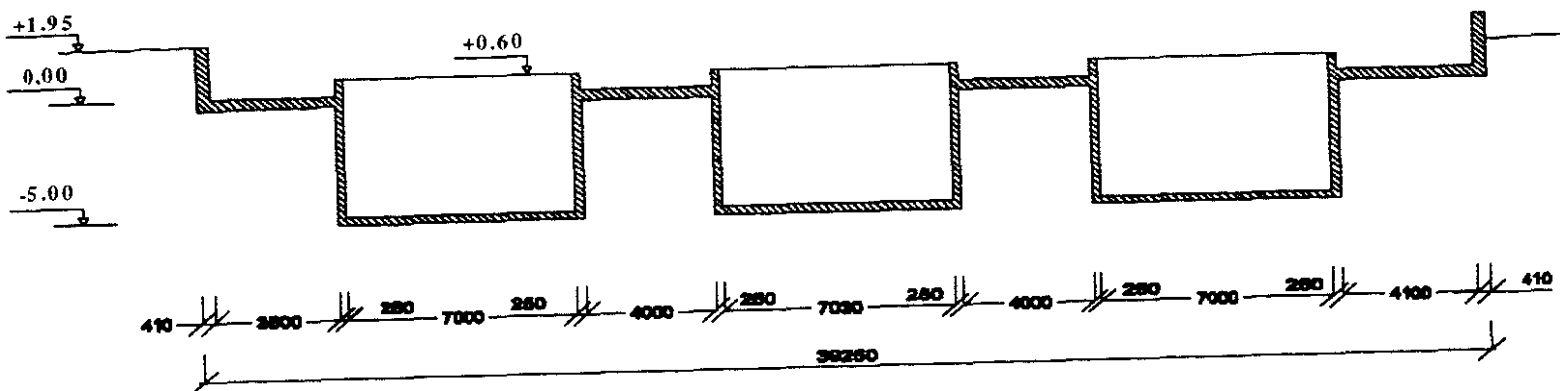
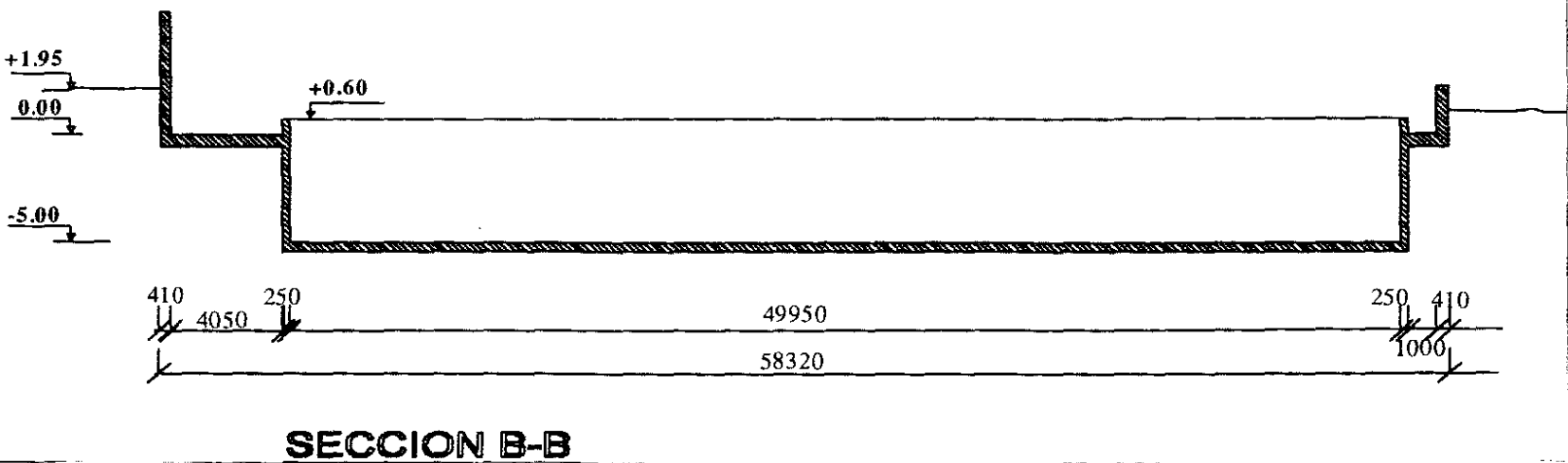


Figura 13.6.1-6. Vista de la Sección A-A.



SECCION A-A

Figura 13.6.1-7. Vista de la Sección B-B.



En MODFLOW el valor de la transmisividad no es necesario definirlo como tal, ya que esta herramienta la calcula realizando la multiplicación del valor dado para la permeabilidad en cada celda del mallado por el espesor medio de dicha celda. Este valor del espesor no es necesario introducirlo ya que es también calculado por MODFLOW a partir de las cotas dadas para cada uno de los límites de las capas definidas.

### 13.6.3. POROSIDAD.

Este parámetro adquiere importancia de cada a calcular el valor de las velocidades en el modelo mediante la ley de Darcy.

En el acuífero superior (capa 1 del modelo definido en MODFLOW) el valor de la porosidad coincide con el dado por el coeficiente de almacenamiento, al tratarse de un acuífero no confinado. En esta capa se dieron valores a cada uno de los tres materiales que anteriormente se han comentado que existían: Cuaternario (10%), Terciario Alterado (5%) y Cimentaciones de edificaciones (1%).

En cuanto al acuífero inferior, Terciario sano, se considera, como para todos los parámetros definidos, como homogéneo constituido por material arcilloso. En esta capa no existe información sobre el valor de la porosidad, por lo que se ha tomado el valor coherente con el existente en bibliografía (1%).

### 13.6.4. COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.

Los valores de coeficiente de almacenamiento en cada uno de los materiales corresponden a los dados en el modelo conceptual.

MODFLOW precisa la entrada del valor del coeficiente de almacenamiento de forma específica, es decir, aún considerando la capa o área como homogénea, es necesario introducir un valor de coeficiente de almacenamiento para cada celda.

A diferencia de la transmisividad, que MODFLOW define como el producto de la permeabilidad por el espesor que él mismo calcula, el coeficiente de almacenamiento se introduce de forma específica, calculando previamente a su introducción en el modelo, como el valor del coeficiente de almacenamiento (adimensional) dividido por el espesor del acuífero para cada celda del mallado.



Aún cuando en el modelo conceptual se daba un espesor medio para cada uno de los acuíferos existentes, de cara a mejorar la precisión del modelo, se dio el espesor para cada una de las celdas del mallado. Este coeficiente específico se calculó en el G.I.S. mediante la división del valor medido del coeficiente de almacenamiento, entre el espesor calculado para cada una de las celdas del modelo de los acuíferos, procediendo posteriormente a su introducción en el modelo siguiendo la metodología de trabajo comentada en el apartado 13.3.1.

### 13.6.5. PERMEABILIDAD VERTICAL O FACTOR DE GOTEO.

Para establecer los valores de las recargas o balance de agua entre los dos acuíferos existentes, es decir, el termino de flujo vertical, es necesario definir un parámetro que permita dicho intercambio; es la denominada permeabilidad vertical.

Sobre este parámetro no existe ningún ensayo real que permita establecer su valor con la suficiente precisión, sin embargo, MODFLOW provee en su manual una forma muy sencilla de definirlo:

La permeabilidad vertical (L) se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{L} = \frac{d_1/2}{k_{fv,1}} + \frac{d_2/2}{k_{fv,2}}$$

donde:

L permeabilidad vertical

$k_{fv,1}$  permeabilidad vertical del acuífero superior

$k_{fv,2}$  permeabilidad vertical del acuífero inferior

$d_1$  espesor del acuífero superior

$d_2$  espesor del acuífero inferior

Al considerarse ambos acuíferos como isótropos, las permeabilidades verticales de ambos acuíferos pueden ser consideradas como iguales a las permeabilidades en dirección horizontal, por lo que teniendo el valor del espesor medio de ambos acuíferos, se calcula el valor de la permeabilidad vertical.

### 13.7. CONDICIONES INICIALES.

Las condiciones iniciales pueden marcar de forma importante la velocidad de convergencia del modelo, ya que si dichas condiciones iniciales están muy alejadas de la solución originarían que el número de iteraciones para llegar a dicha solución sea elevado.

Una forma de reducir este número de iteraciones necesarias para llegar a la solución sería la siguiente:

- ▮ En primer lugar se realiza un modelo en estado estacionario; la solución aquí obtenida será para la que el modelo esté en estado estacionario.
- ▮ Una vez logrado el estacionario, se realiza la modelización del período en estudio (Agosto 96 - Julio 97), tomando como alturas piezométricas iniciales la solución del régimen permanente obtenida anteriormente, con lo que se consigue que el modelo evolucione desde una situación de estabilidad.

En el caso del modelo que nos ocupa se inició la modelización tomando como alturas piezométricas iniciales las obtenidas de sumar tres metros a la base del cuaternario y terciario alterado.

A partir de esta situación se llevó el modelo hasta una situación de estado estacionario (a la que se llega tras un periodo de tiempo importante). A partir de este momento se simula el periodo de tiempo en estudio.

### 13.8. PERIODOS DE TIEMPO.

Para realizar una modelización en régimen transitorio de cualquier modelo, es necesario establecer el período de tiempo en el que se realizará dicha simulación.

En el caso que nos ocupa el período de tiempo es el año hidrogeológico comprendido entre Agosto 1996 y Julio de 1997.

Este periodo de tiempo no se puede simular en un solo período, ya que las condiciones del contorno, recargas, etc., van variando de un mes a otro e incluso día a día, como es el caso del mes de Febrero en el que se tienen los valores de la cota del embalse día a día durante el periodo de bajada de dicha cota y recuperación del nivel estable del embalse.

El proceso seguido en la simulación fue el siguiente:

En primer lugar, antes de la modelización del año en estudio, se simularon unos periodos de tiempo de longitud variable, para que el modelo alcance un estado estacionario a partir de las condiciones iniciales.

Este período, lógicamente, debe tener una duración importante con respecto a la duración del año modelizado. Aunque se esté hablando de un período de tiempo para alcanzar esta estabilidad, no es del todo cierto, ya que se trata en realidad de cinco periodos de tiempo con duración diferente. La razón de esta elección de cinco períodos, y la duración de los mismos, es una técnica recomendada para no hacer excesivamente lenta la convergencia del modelo en MODFLOW.

En la tabla 13.8-I puede observarse como el mes de Febrero se ha simulado mediante 28 períodos de tiempo de un día de duración para tener en cuenta la condiciones del nivel del embalse en este mes, que fueron variando de un día a otro como ya se ha comentado anteriormente.

Asimismo, el mes de Marzo se simula en varios periodos de tiempo de diferente duración creciente. Esto permite una mejor simulación de la respuesta del modelo al escalón que produce la bajada del embalse durante el mes de Febrero.

PERÍODO (Nº período MODFLOW)	Período de tiempo	Duración (días)
1	Régimen permanente	1
2	Régimen permanente	3
3	Régimen permanente	6
4	Régimen permanente	16
5	Régimen permanente	800
6	Agosto 96	31
7	Septiembre 96	30
8	Octubre 96	31
9	Noviembre 96	30
10	Diciembre 96	31
11	Enero 97	31
12 hasta 39	Febrero 97	28 periodos de 1 día
40	Marzo 97	1
41	Marzo 97	4
42	Marzo 97	8
43	Marzo 97	18
44	Abril 97	30
45	Mayo 97	31
46	Junio 97	30
47	Julio 97	31

**Tabla 13.8-I. Períodos de tiempo definidos en el modelo transitorio.**

Por último, aunque los periodos de tiempo definidos sean los anteriormente expuestos, MODFLOW necesita que sean definidos unos números de pasos de tiempo para cada uno de esos períodos que permitan la convergencia del modelo que utiliza para resolver el problema expuesto, por lo que los periodos definidos quedan subdivididos a su vez en pasos de tiempo para la resolución del problema.

### 13.9. RECARGAS.

Se entiende como recargas los aportes de agua dados al sistema. En el caso del modelo objeto se consideran los aportes originados por las precipitaciones en el área estudiada.

Tal y como se ha comentado, se consideran en principio tres zonas en las que los aportes de agua por precipitación serían diferentes. Sin embargo a la vista de los primeros resultados obtenidos, se revisaron dichas zonas, realizando una mayor profundización en el estudio de estas recargas con lo que se llegó a definir una nueva distribución de zonas de recargas, que establecen seis zonas diferenciadas.

Esta distribución espacial de zonas de recargas diferenciadas en el área del modelo, se muestra en el plano representado en la Figura 13.9-1, siendo su superficie la expresa en la Tabla 13.9-I.

ZONAS	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
Áreas impermeables	133.794
Terraza: Zona de infiltración preferente	16.661
Terraza: Infiltración + Escorrentía	167.882
Terraza + Aporte de ladera	87.177
Ladera: Zona de infiltración preferente	290.439
Ladera: Infiltración + Escorrentía	288.986
Superficie de la Terraza	362.606
Superficie de la Ladera	622.334
<b>Total.....</b>	<b>984.940</b>

**Tabla 13.9-I. Superficie de las diferentes áreas definidas para el cálculo final de recargas.**

En el estudio llevado a cabo se observa una gran diferencia entre el balance global realizado para las series históricas y el realizado para el periodo de estudio (Agosto 96 - Julio 97). Estas variaciones se deben principalmente al hecho de que las precipitaciones en este periodo son mayores a la medida de las producidas en la serie meteorológica utilizada. Otra de las causas de esta diferencia es el valor menor de la evapotranspiración para este periodo.

- Balance realizado para el modelo en estacionamiento y para los periodos de tiempo utilizados en transitorio para que el modelo alcance la estabilidad (figura 13.9-2.)

Figura 13.9-1. Zonas de recarga.

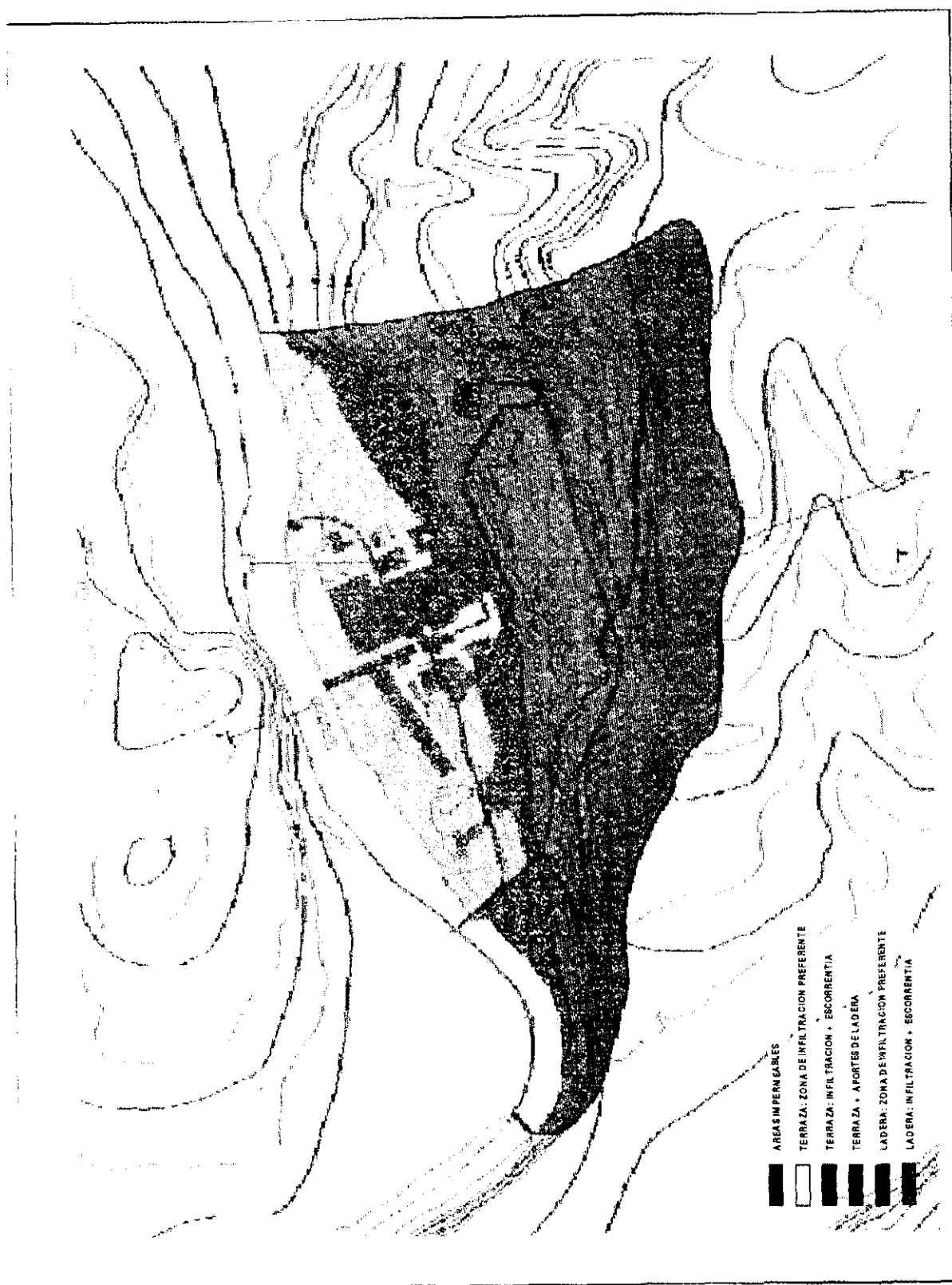
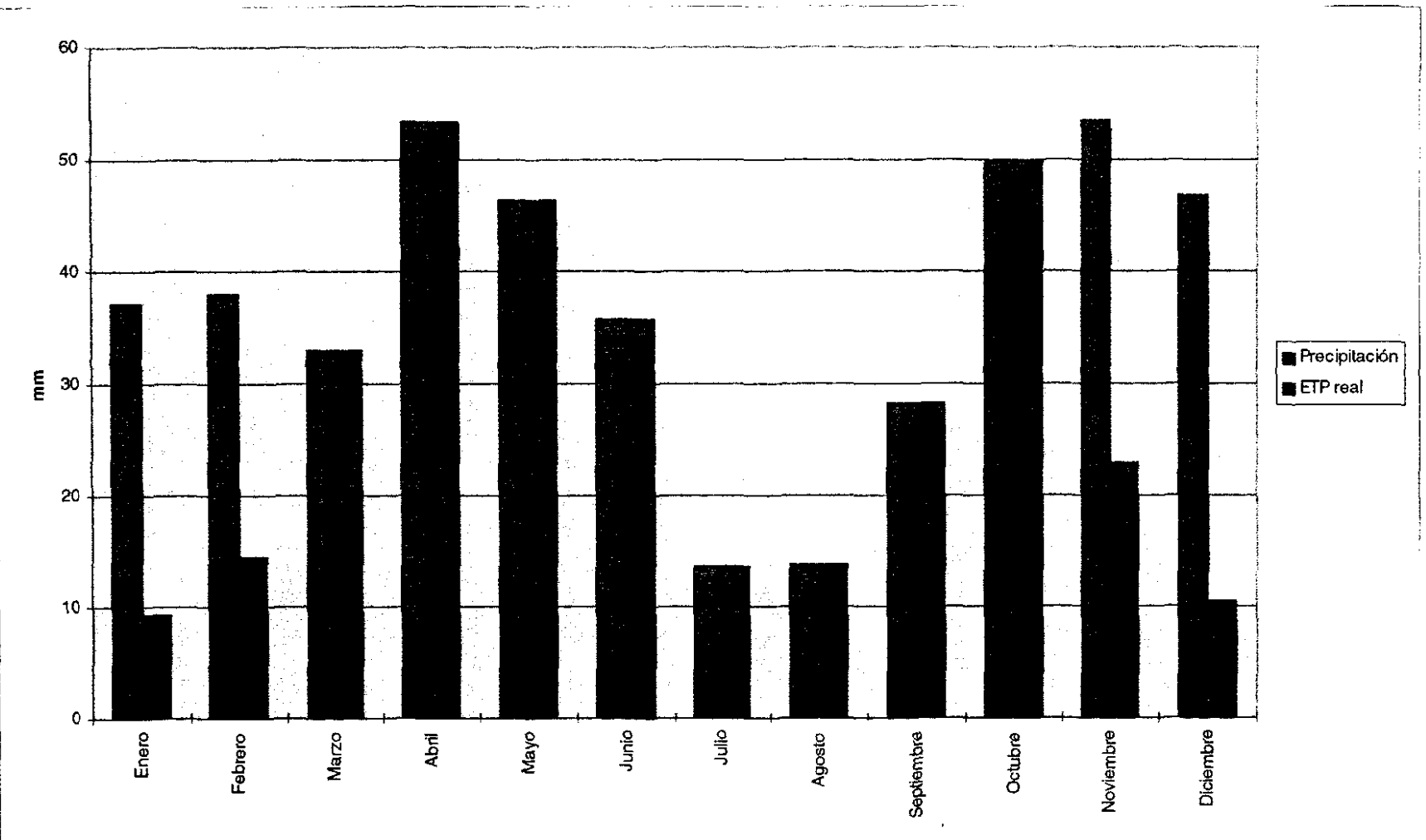


Figura 13.9-2. Precipitaciones y ETP real calculadas con serie históricas.



Para la serie histórica se obtienen los siguientes valores para las recargas:

<i>Precipitación Media Anual</i>	<b>449.16 mm</b>	
<i>Evapotranspiración</i>	<b>330.54 mm</b>	<b>73.59%</b>
<i>Lluvia útil</i>	<b>118.62 mm</b>	<b>26.41%</b>

La distribución espacial de estos valores en las cinco áreas definidas se refleja en la Tabla 13.9-II.

» Balance realizado para el periodo Agosto 96 - Julio 97 (Figura 13.9-3).

Procediendo del mismo modo para el año hidrogeológico en estudio se calcularon los siguiente valores:

<i>Precipitación Media Anual</i>	<b>513.15 mm</b>	
<i>Evapotranspiración</i>	<b>237.20 mm</b>	<b>46.22%</b>
<i>Lluvia útil</i>	<b>275.95 mm</b>	<b>53.78%</b>

La distribución espacial de estos valores en las cinco áreas definidas se reflejan en la Tabla 13.9-III.

En cuanto a los valores de evapotranspiración potencial y real, se reflejan en la Tabla 13.9-IV.

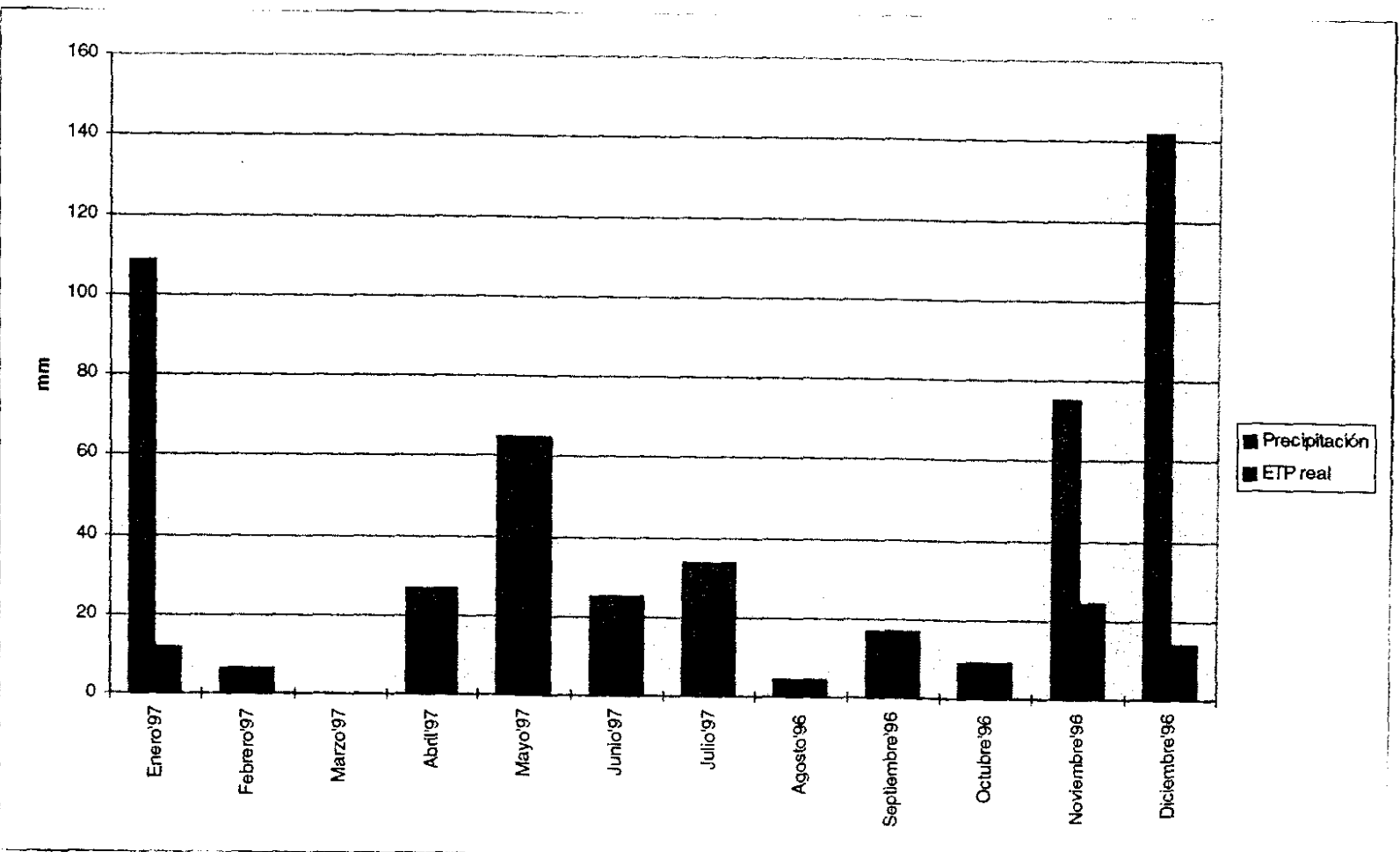
Dentro de estos intervalos de infiltración para cada una de las zonas se ha definido el valor dado finalmente para las recargas del modelo.

A diferencia del caso anterior, en el que los milímetros de infiltración se calculan a partir de las precipitaciones anuales calculadas para la serie, en el periodo Agosto 1996 - Julio 1997, se calculan a partir de las precipitaciones medias mensuales medidas en las estaciones de Bolarque y Zorita.

De los valores obtenidos para la evapotranspiración real y los medios en las estaciones de Bolarque y Zorita, se deduce que los valores de las recargas en este periodo de tiempo, calculadas a partir de la lluvia útil obtenida para cada uno de los meses, son nulas en todos los meses menos en Noviembre y Diciembre de 1996 y Enero de 1997, obteniéndose un valor de lluvia útil reflejado en la Tabla 13.9-V.

Los valores de las recargas se calculan en unidades metro/día, unidades elegidas para la definición del modelo numérico, a partir de estos valores de lluvia útil y los porcentajes de infiltración en las diferentes zonas diferenciadas.

Figura 13.9-3. Precipitaciones y ETP real en el período Agosto 96 - Julio 97.





Zonas	Escurrentia (mm)	%	Infiltración (mm)	%
Areas impermeables	112,61 - 118,62	25,07 - 26,41	6,01 - 0	1,34 - 0
Terraza: zona de infiltración preferente	13,09 - 3,51	2,91 - 0,78	105,53 - 115,11	23,5 - 25,63
Terraza: infiltración + escurrentia	13,09 - 53,44	2,91 - 11,89	105,53 - 65,18	23,5 - 14,52
Terraza + aportes de la ladera	13,09 - 53,44	2,91 - 11,89	105,53 - 65,18	23,5 - 14,52
Ladera: zona de infiltración preferente	23,29 - 43,71	5,18 - 9,73	95,33 - 74,91	21,23 - 16,68
Ladera: infiltración + escurrentia	26,71 - 64,00	5,94 - 13,85	91,91 - 54,62	20,47 - 12,56

**Tabla 13.9-II. Valores de las recargas para las diferentes áreas en régimen estacionario.**

Zonas	Escurrentia (mm)	%	Infiltración (mm)	%
Areas impermeables	269,82 - 275,95	52,58 - 53,78	6,13 - 0	1,2 - 0
Terraza: zona de infiltración preferente	33,03 - 0	0 - 6,43	242,92 - 275,95	47,35 - 53,78
Terraza: infiltración + escurrentia	102,08 - 174,47	19,89 - 33,99	173,87 - 101,48	33,88 - 19,77
Terraza + aportes de la ladera	102,08 - 174,47	19,89 - 33,99	173,87 - 101,48	33,88 - 19,77
Ladera: zona de infiltración preferente	50,48 - 138,82	9,83 - 27,05	225,47 - 137,13	43,95 - 26,73
Ladera: infiltración + escurrentia	167,44 - 202	32,63 - 39,36	108,51 - 73,95	21,15 - 14,42

**Tabla 13.9-III. Valores de las recargas para el período Agosto 96 - Julio 97.**

Meses	T Media	ETP potencial (mm)	Precipitación (mm)	ETP real (mm)
Agosto 96	22.9	148.392	4.45	4.450
Septiembre 96	17.95	88.841	17	17.000
Octubre 96	14.25	56.915	9.05	9.050
Noviembre 96	9.1	24.045	75.3	24.045
Diciembre 96	6.5	13.654	141.9	13.654
Enero 97	5.95	11.842	108.35	11.842
Febrero 97	9.1	23.789	6.55	6.550
Marzo 97	13.3	54.625	0	0.000
Abril 97	14.95	70.607	26.75	26.750
Mayo 97	16.35	91.121	65	65.000
Junio 97	19	116.731	25.15	25.150
Julio 97	23.05	160.890	33.65	33.650

**Tabla 13.9-IV. Valores de Evapotranspiración potencial y real mensual para el período Agosto 96 - Julio 97.**

MES	LLUVIA ÚTIL (mm)
NOVIEMBRE 96	51.26
DICIEMBRE 96	128.22
ENERO 97	96.48

Tabla 13.9-V. Lluvia útil.

### 13.10. CALIBRACIÓN DEL MODELO.

La calibración de un modelo consiste en el ajuste de los distintos parámetros que conforman dicho modelo, tales como permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, etc.; para conseguir que los resultados, obtenidos con el modelo realizado, se adecúen a las medidas realizadas en campo.

En el caso que nos ocupa, y como ya se ha ido exponiendo reiteradamente en el presente documento, la calibración del modelo se ha realizado por el período de tiempo comprendido entre Agosto de 1996 y Julio de 1997. Esto supone un año hidrogeológico completo.

Este período de tiempo ha tenido varias particularidades que han provocado que las medidas de los niveles piezométricos en los piezómetros situados en la terraza hayan tenido una mayor heterogeneidad que en años más "típicos".

#### 13.10.1. NIVELES REALES.

Los datos reales utilizados para la calibración del modelo han sido los correspondientes a los niveles piezométricos medidos en la terraza.

Estos niveles se han obtenido mediante medidas periódicas (cada 15 días) en los piezómetros situados en la terraza y en la ladera. Los 22 piezómetros instalados en el área (figura 13.2.1) se identifican mediante la nomenclatura expresada en apartados anteriores:

- **PT#;** sondeos terciarios, el piezómetro muestra lecturas de nivel piezométrico en el terciario. Existen 6 piezómetros de este tipo numerados del 1 al 6.
- **PQ#;** sondeos cuaternarios, el piezómetro muestra lecturas de nivel piezométrico en el cuaternario. Existen 12 piezómetros de este tipo numerados del 1 al 12.
- **PR#;** sondeos en los que se realizó recuperación de testigo. Existen 3 numerados del 1 al 3.

Fecha	PQ1	PQ10	PQ11	PQ12	PQ2	PQ3	PQ4	PQ5	PQ6	PQ7	PQ8	PQ9
03/08/96	600.70	600.37	600.42	600.31	600.27	600.27	600.16	600.61	600.15	600.02	600.30	600.39
17/08/96	600.71	600.36	600.40	600.27	600.26	600.23	600.14	600.55	600.13	600.03	600.27	600.35
31/08/96	600.68	600.36	600.40	600.24	600.27	600.24	600.12	600.52	600.13	600.03	600.25	600.31
14/09/96	600.69	600.35	600.40	600.22	600.25	600.21	600.10	600.49	600.12	600.03	600.24	600.30
28/09/96	600.62	600.34	600.38	600.18	600.23	600.19	600.07	600.45	600.11	600.04	600.17	600.24
12/10/96	600.63	600.30	600.26	600.17	600.22	600.17	600.07	600.47	600.10	600.02	600.17	600.25
26/10/96	600.62	600.30	600.35	600.17	600.20	600.15	600.06	600.46	600.08	600.03	600.17	600.25
09/11/96	600.63	600.32	600.37	600.17	600.21	600.15	600.08	600.45	600.05	600.04	600.19	600.26
23/11/96	600.64	600.34	600.38	600.21	600.25	600.16	600.12	600.51	600.08	600.06	600.22	600.29
07/12/96	600.71	600.35	600.34	600.22	600.23	600.17	600.08	600.50	600.03	600.02	600.24	600.25
21/12/96	600.67	600.34	600.38	600.25	600.28	600.21	600.12	600.56	600.15	600.01	600.25	600.32
05/01/97	600.65	600.35	600.39	600.25	600.27	600.20	600.10	600.56	600.25	599.99	600.24	600.31
18/01/97	600.69	600.39	600.43	600.29	600.31	600.22	600.15	600.60	600.29	600.06	600.28	600.36
01/02/97	600.71	600.43	600.48	600.31	600.32	600.23	600.16	600.64	600.28	600.04	600.31	600.39
15/02/97	600.11	600.08	600.12	599.88	599.51	599.72	599.46	600.27	600.06	599.23	599.86	599.97
01/03/97	600.66	600.29	600.30	600.19	600.30	599.86	600.14	600.50	600.10	600.15	600.19	600.26
15/03/97	600.75	600.55	600.48	600.34	600.36	600.28	600.19	600.67	600.13	600.12	600.33	600.42
29/03/97	600.69	600.45	600.50	600.37	600.52	600.28	600.19	600.81	600.11	600.07	600.33	600.47
12/04/97	600.67	600.39	600.40	600.26	600.30	600.21	600.11	600.60	600.10	600.06	600.26	600.34
26/04/97	600.67	600.38	600.41	600.23	600.24	600.18	600.11	600.55	600.07	600.05	600.23	600.30
10/05/97	600.66	600.35	600.40	600.23	600.27	600.20	600.10	600.56	600.08	600.04	600.23	600.30
26/05/97	600.69	600.58	600.43	600.26	600.27	600.19	600.13	600.57	600.09	600.04	600.25	600.33
07/06/97	600.69	600.38	600.42	600.27	600.61	600.22	600.12	600.59	600.11	600.06	600.27	600.35
28/06/97	600.69	600.40	600.43	600.26	600.28	600.20	600.14	600.56	600.14	600.06	600.25	600.32
12/07/97	600.66	600.37	600.41	600.21	600.26	600.19	600.13	600.54	600.10	600.04	600.28	600.31
28/07/97	600.69	600.38	600.36	600.27	600.27	600.22	600.16	600.57	600.12	600.05	600.28	600.35

Tabla 13.10.1-I. Evolución real del nivel de los piezómetros situados en el Cuaternario.

FECHA	PR1	PR2	PR3
03/08/96	600,43	600,39	602,17
17/08/96	600,4	600,344	602,093
31/08/96	600,379	600,274	602,035
14/09/96	600,381	600,235	601,998
28/09/96	600,379	600,192	601,948
12/10/96	600,409	600,209	601,934
26/10/96	600,436	600,208	601,909
09/11/96	600,26	600,21	601,9
23/11/96	600,272	600,244	601,928
07/12/96	600,4	600,25	601,66
21/12/96	600,491	600,3	601,956
05/01/97	600,51	600,29	601,98
18/01/97	600,565	600,326	601,977
01/02/97	600,904	600,361	601,988
15/02/97	600,205	599,967	601,874
01/03/97	600,569	600,24	601,608
15/03/97	600,659	600,398	601,69
29/03/97	600,714	600,628	601,698
12/04/97	600,609	600,326	601,69
26/04/97	600,535	600,282	601,673
10/05/97	600,553	600,28	601,841
26/05/97	600,591	600,321	601,798
07/06/97	600,579	600,318	601,792
28/06/97	600,561	600,32	601,771
12/07/97	600,521	600,27	601,73
28/07/97	600,564	600,31	601,711

Tabla 13.10.1-II. Evolución del nivel real de los piezómetros instalados en los sondeos realizados con recuperación de testigo.

Fecha	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6
03/08/96	616,33	600,6	600,69	601,31	608,46	624,05
17/08/96	615,52	600,552	600,677	601,304	608,474	623,963
31/08/96	615,462	600,512	600,671	601,299	608,186	624,026
14/09/96	615,447	600,497	600,67	601,294	608,053	624,062
28/09/96	615,947	600,471	600,619	601,286	608,003	624,04
12/10/96	617,531	600,504	600,624	601,278	608,01	624,075
26/10/96	617,636	600,521	600,629	601,286	608,012	623,838
09/11/96	617,29	600,52	600,64	601,31	608	623,81
23/11/96	615,941	600,551	600,677	601,314	608,081	623,896
07/12/96	615,39	600,39	600,57	598,22	607,98	623,85
21/12/96	615,387	600,377	600,589	601,335	608,07	623,926
05/01/97	615,34	600,37	600,58	601,47	608,29	624,37
18/01/97	615,458	600,438	600,619	601,518	608,554	624,121
01/02/97	615,62	600,55	600,66	601,546	608,852	624,196
15/02/97	615,99	600,357	600,281	601,57	608,835	624,187
01/03/97	617,262	600,465	600,535	601,536	607,948	624,187
15/03/97	617,592	600,64	600,684	601,585	609,053	624,182
29/03/97	617,433	600,622	600,684	601,594	608,92	624,158
12/04/97	617,872	600,602	600,645	601,584	608,866	624,065
26/04/97	620,785	600,518	600,572	600,977	608,908	624,005
10/05/97	621,391	600,571	600,6	601,279	609,056	623,911
26/05/97	620,686	600,602	600,622	601,272	608,926	623,838
07/06/97	618,455	600,535	600,657	601,284	608,662	623,685
28/06/97	615,764	600,657	600,657	601,259	608,296	623,98
12/07/97	615,505	600,379	600,647	601,208	608,172	624,063
28/07/97	615,487	600,561	600,693	600,725	608,226	624,085

**Tabla 13.2.1-III. Evolución del nivel real de los piezómetros situados a nivel del terciario en terraza y ladera.**

La evolución quincenal del nivel de los piezómetros desde el 3 de Agosto de 1996 hasta el 28 de Julio de 1997 se encuentra recogida en el G.I.S. (numérica y gráficamente) desarrollado para el presente proyecto. De forma numérica se muestra en las Tablas 13.10.1-I a 13.10.1-III.

A partir de estos valores se establecieron los valores medios mensuales de los niveles en cada piezómetro, dada la imposibilidad de realizar los cálculos de las recargas para períodos quincenales y disponiendo de dichos valores con una periodicidad quincenal.

Una representación gráfica de los niveles medios mensuales permite una mejor interpretación del funcionamiento del flujo en el período en estudio del entorno de la Central. Esta representación se encuentra recogida en:

- Figura 13.10.1-1. Evolución de los piezómetros PQ.
- Figura 13.10.1-2. Evolución de los piezómetros PR.
- Figura 13.10.1-3. Evolución de los piezómetros PT.

Asimismo en la campaña de seguimiento se han realizado análisis físico-químicos y radiológicos, que han ayudado a la mejor interpretación de la evolución del flujo en la terraza donde se ubica la Central.

### **Evolución de piezómetros Cuaternarios**

En la evolución gráfica representada en la Figura 13.10.1-1 se observa:

- En los primeros meses del año hidrogeológico se tiene un pequeño descenso fruto de la ausencia de lluvia útil durante este período de tiempo.
- En los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, se produce una subida del nivel en prácticamente todos los piezómetros debido a las precipitaciones fuertes producidas en estos meses.
- En el mes de Febrero se produce respuesta de casi todos los piezómetros a la bajada de nivel del embalse para la operación de mantenimiento del embalse de Zorita. Este descenso es más acusado en los piezómetros situados cerca del río, siendo menor en los más alejados al mismo situados próximos a la ladera; por otro lado, en estos últimos es más acusado el efecto de la recarga de las lluvias.

Esto indica claramente la dependencia de los niveles en la terraza del nivel del embalse.

Figura 13.10.1-1. Evolución gráfica de los niveles reales medidos en los piezómetros en el Cuaternario.

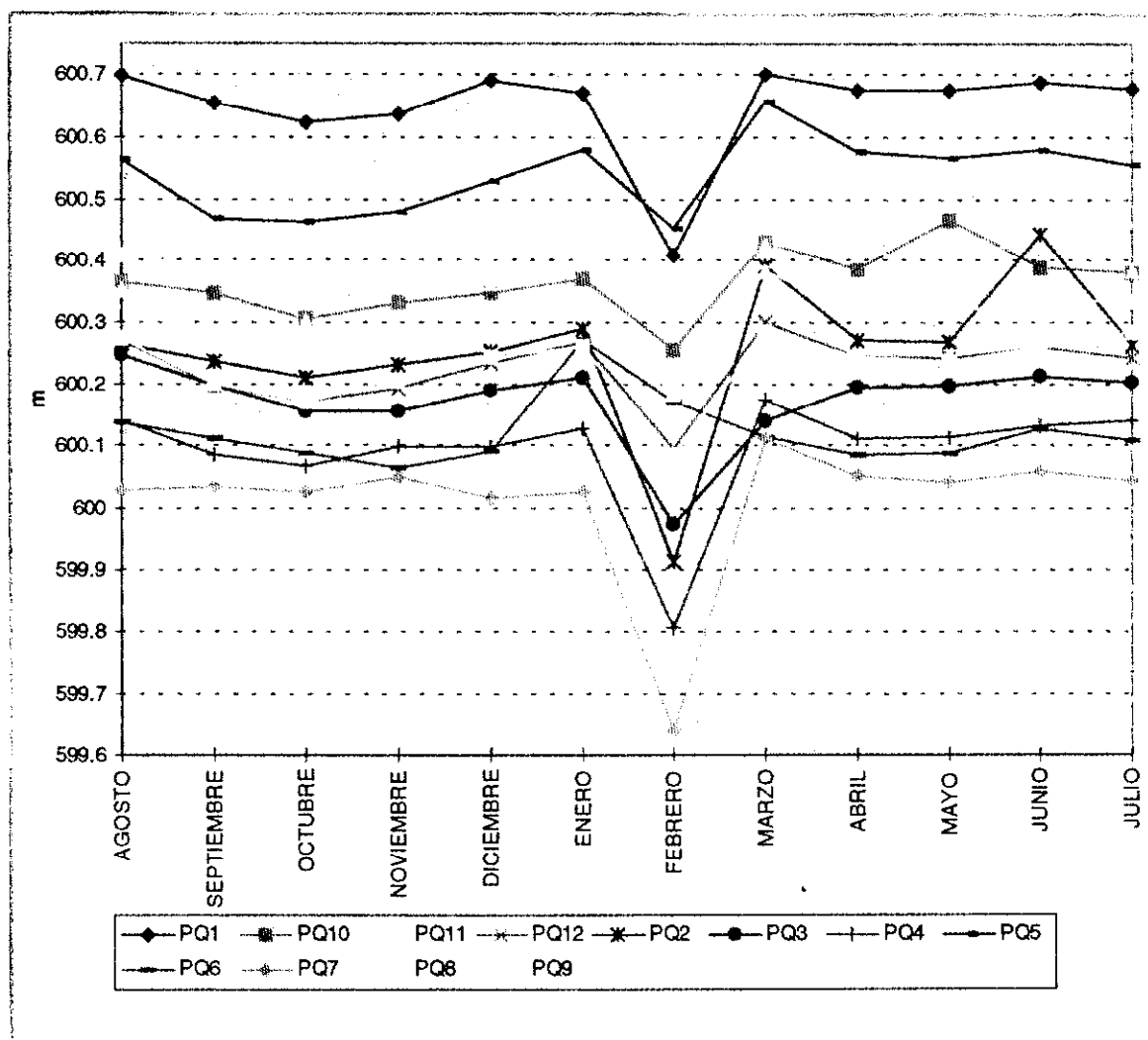




Figura 13.10.1-2. Evolución de los piezómetros instalados en sondeos realizados con recuperación de testigo.

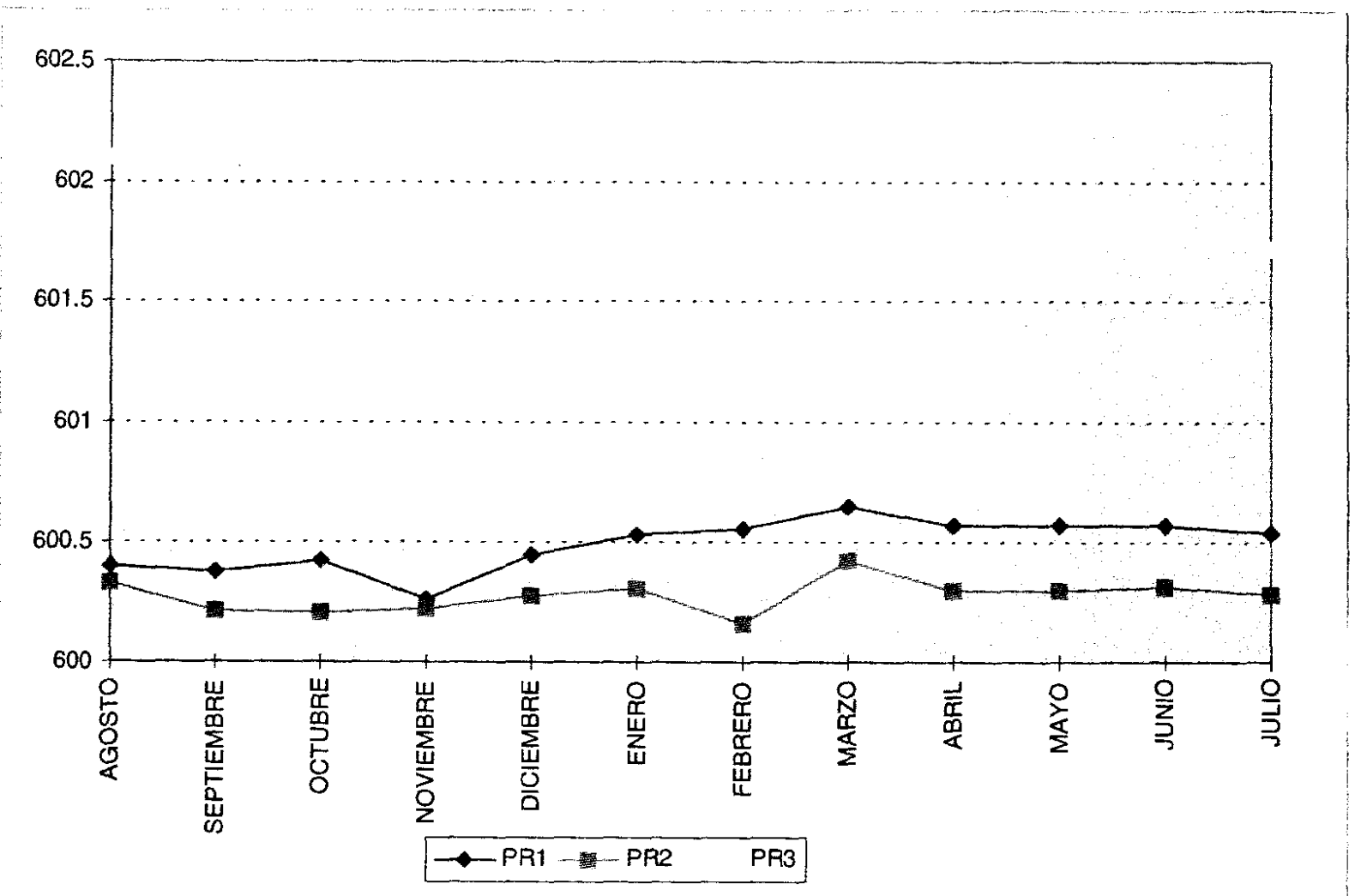
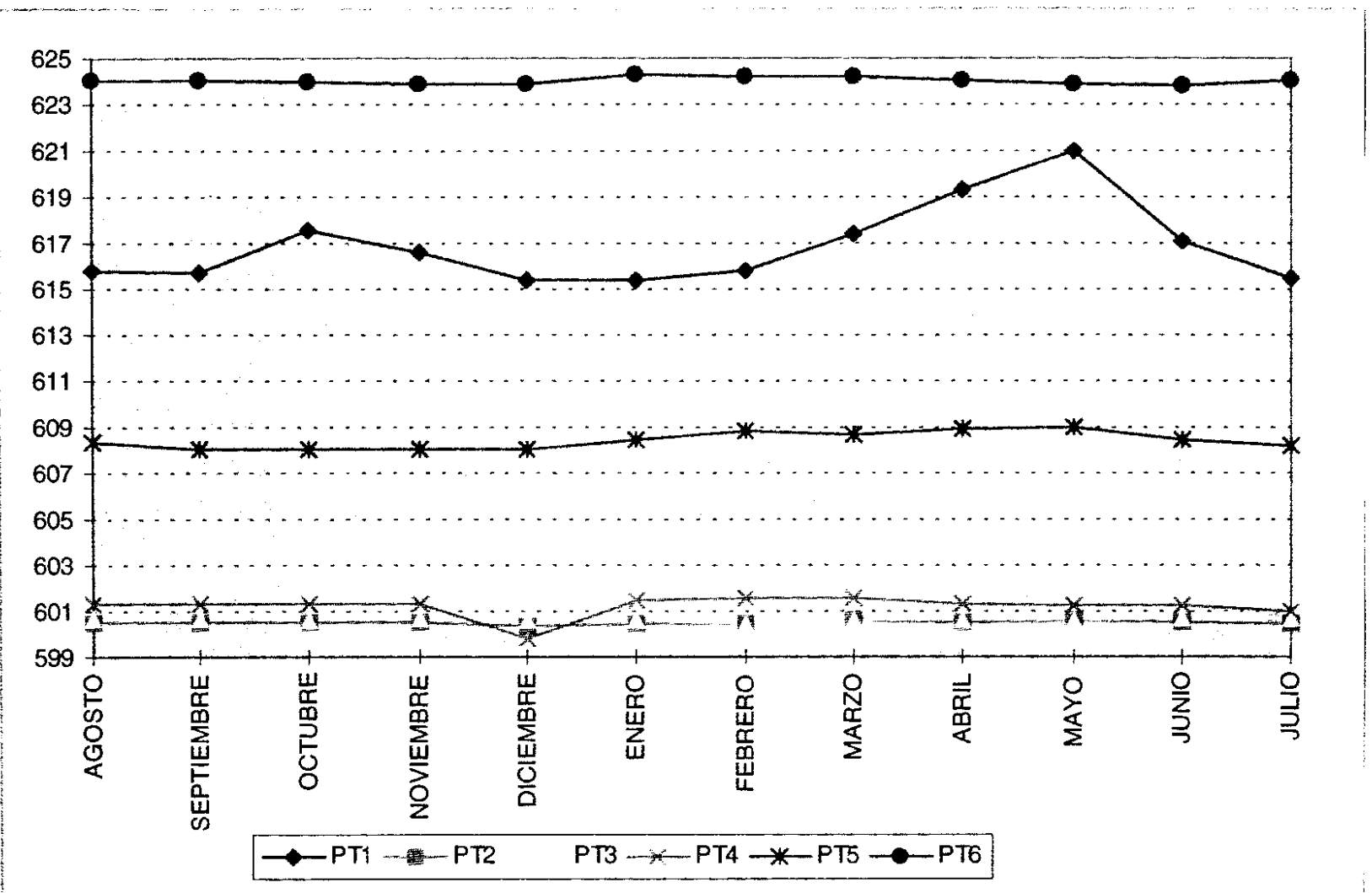


Figura 13.10.1-3. Evolución del nivel del Terciario obtenidos con los piezómetros PT.



### **Evolución de piezómetros de sondeos con recuperación de testigo.**

Observando detenidamente los niveles medidos, cuya representación gráfica se encuentra en la Figura 13.10.1-2, se llega a la conclusión de que el nivel medio en el piezómetro PR3 es excesivamente alto en comparación con los niveles medidos en los demás piezómetros situados en el entorno del mismo. Esto es debido a que este sondeo resultó surgente y se cementó, pero por diversos problemas en dicha cementación se produce un aporte de agua en este sondeo del nivel terciario inferior. Por esta causa, las mediciones en este piezómetro no se toman de cara a la calibración del modelo matemático.

Por su parte, el sondeo PR1 es también surgente, y la gráfica refleja como sus resultados difieren del comportamiento observado para los piezómetros situados en la terraza, por lo que es posible que hubiera también algún problema en su cementación.

El piezómetro PR2 se encuentra dentro del margen en el que se mueven los niveles de la terraza pese a ser inicialmente surgente, por lo que se intuye que en este caso si ha sido cementado correctamente.

Debido a las causas anteriores, tan solo los resultados del piezómetro PR2 parecen resultar correcto para la calibración del modelo matemático.

### **Evolución de piezómetros que miden el nivel en el Terciario**

Los piezómetros PT, que miden el nivel del Terciario, no ofrecen ninguna respuesta aparente tanto a la bajada del embalse como a las recargas (Figura 13.10.1-3).

La falta de respuesta a la bajada del nivel del embalse producida en Febrero y reflejada en los piezómetros situados en el Cuaternario, parece demostrar una vez más la independencia existente entre el acuífero superior Cuaternario y el inferior Terciario.

Asimismo, la evolución de los niveles de recarga del acuífero superior parece indicar que ésta tampoco afecta en exceso al acuífero inferior, haciéndolo en todo caso de forma diferida y a partir de aportes que reciba desde niveles aflorantes hacia Altomira.

### Curva descenso - distancia del río

Ante la disparidad de las respuestas de los piezómetros a la bajada sufrida en el mes de Febrero del embalse, se decidió realizar una curva que relacionase el descenso real observado en los piezómetros con la distancia al río.

Esta gráfica (Figura 13.10.1-4) permitiría establecer una correlación entre los valores del máximo descenso, producido entre la última medida de Enero de 1997 y la realizada el 15 de febrero de 1997, y la distancia al río.

La distancia al río de cada uno de los piezómetros se calcula entre la vertiente Sur del río, límite de la terraza donde se encuentra emplazada la Central, en el G.I.S. desarrollado.

Analizando los resultados de la correlación se ve como el comportamiento de los niveles de los piezómetros en general se ajusta a la curva representada.

Sin embargo este comportamiento no es uniforme y en algunos casos se observan comportamientos particulares de algunos piezómetros:

- Los piezómetros PQ10, PQ6 y PR3 tienen un descenso menor del que por la curva calculada se debería producir.
- Los piezómetros PQ2, PQ4 y PR1 tienen un descenso mayor del que su cercanía al río debería permitir según la curva calculada.

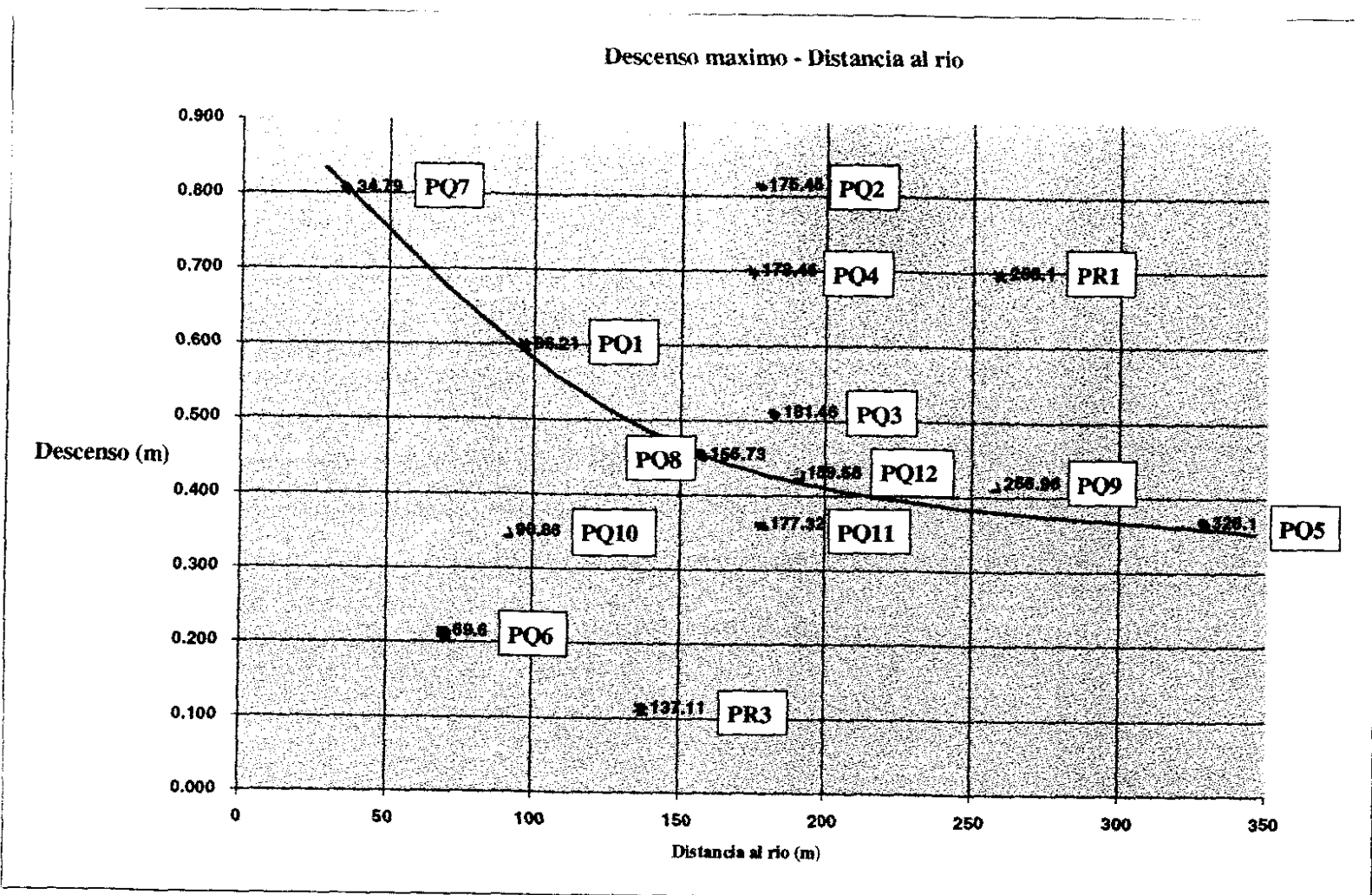
Estos hechos hacen pensar en una posible heterogeneidad en transmisividad dentro de la terraza aluvial en la que se emplaza la Central.

#### **13.10.2. NIVELES CALCULADOS CON EL MODELO MATEMÁTICO.**

En las líneas siguientes se explicará el proceso seguido para calibrar el modelo matemático realizado.

Tal como se indicaba, para la calibración del modelo se realiza una comparación entre los niveles calculados en el modelo y los observados en la campaña de medidas de los piezómetros.

Figura 13.10.1-4. Curva Descenso máximo versus Distancia al río.



MODFLOW permite la salida de la evolución temporal de un número limitado de celdas del mallado. Se eligieron diez de los piezómetros para la realización de la calibración, extendiendo los resultados del modelo final a la totalidad de los piezómetros. Estos piezómetros se identificaron sus correspondientes celdas del mallado como se observa en la Tabla 13.10.2-I.

	Coord. X ref	Coord. Y ref.	Coord. X UTM	Coord. Y UTM	Celda ModFlow
PR-1	1815.706	1004.299	510017.616	4466604.13	63,48
PR-2	1624.06	944.672	509825.97	4466544.5	30,45
PR-3	1771.353	1126.92	509973.263	4466726.75	64,26
PQ-1	1182.934	884.139	509384.844	4466483.97	8,26
PQ-2	1734.613	1086.162	509936.523	4466685.99	56,31
PQ-3	1683.608	1061.233	509885.518	4466661.06	47,31
PQ-4	1579.156	1021.919	509781.066	4466621.75	28,30
PQ-5	1790.964	938.244	509992.874	4466538.07	55,57
PQ-6	1733.148	1188.491	509935.058	4466788.32	62,15
PQ-7	1576.428	1174.234	509778.338	4466774.06	37,7
PQ-8	1370.116	935.052	509572.026	4466534.88	14,30
PQ-9	1524.781	913.215	509726.691	4466513.05	20,44
PQ-10	2149.127	1193.994	510351.037	4466793.82	101,40
PQ-11	2061.244	1079.994	510263.154	4466679.82	96,52
PQ-12	1506.421	975.506	509708.331	4466575.34	21,33
PT-1	1632.694	711.945	509834.604	4466311.78	21,74
PT-2	1487.39	834.274	509689.3	4466434.1	17,53
PT-3	1328.543	786.547	509530.453	4466386.38	11,51
PT-4	1737.375	864.823	509939.285	4466464.65	42,65
PT-5	1999.381	943.901	510201.291	4466543.73	87,68
PT-6	2079.139	788.537	510281.049	4466388.37	88,79

Tabla 13.10.2-I. Celda del mallado correspondiente a cada piezómetro.

En el caso que nos ocupa se eligieron los piezómetros PQ etiquetados con los números del 1 al 10. Esta elección se realizó debido a la respuesta de estos sondeos tanto a los cambios de nivel del embalse, como a las recargas producidas por las precipitaciones.

En el proceso de calibración se han realizado multitud de simulaciones, mostrándose en el Anexo 13.5.3-2 tan solo los resultados de aquellos que han resultado más significativas para el proceso de definición del modelo o cuyos resultados permitan establecer un análisis de sensibilidad del mismo.

Tras las simulaciones realizadas para el análisis de sensibilidad de los diferentes parámetros, recogidas dentro del Anexo 13.10.2-2, se llega finalmente al modelo que se comenta a continuación.

### 13.11. EXPLOTACIÓN DEL MODELO: ANÁLISIS DE ESCENARIOS.

#### 13.11.1. **MODELO DEFINITIVO.**

Tras el proceso de calibración y análisis de sensibilidad se llegó al establecimiento óptimo de parámetros para el modelo en su definición final.

Estos parámetros son los resumidos a continuación.

◦ **Permeabilidades:**

$K_q$  (Cuaternario) = 14 m/día

$K_{TA}$  (Terciario Alterado) =  $10^{-2}$  m/día

$K_T$  (Terciario) =  $3 \cdot 10^{-6}$  m/día

◦ **Porosidad:**

Cuaternario 10%

Terciario Alterado 5%

Terciario 2%

◦ **Coefficiente de almacenamiento:**

Cuaternario 10%

Terciario Alterado 5%

Terciario 2%

◦ **Coefficiente de relación río-acuífero:**

50.01 m<sup>2</sup>/día

◦ **Permeabilidad Vertical:**

$10^{-8}$  día<sup>-1</sup>



▫ **Recargas:**

Con cinco zonas diferenciadas (valores mínimos en terraza).

▫ **Altura del río:**

Variable con simulación de la bajada de nivel de Febrero de 1997.

▫ **Superficie de contacto Cuaternario-Terciario:**

Superficie con paleocauce definido y espesor constante en ladera (13 m).

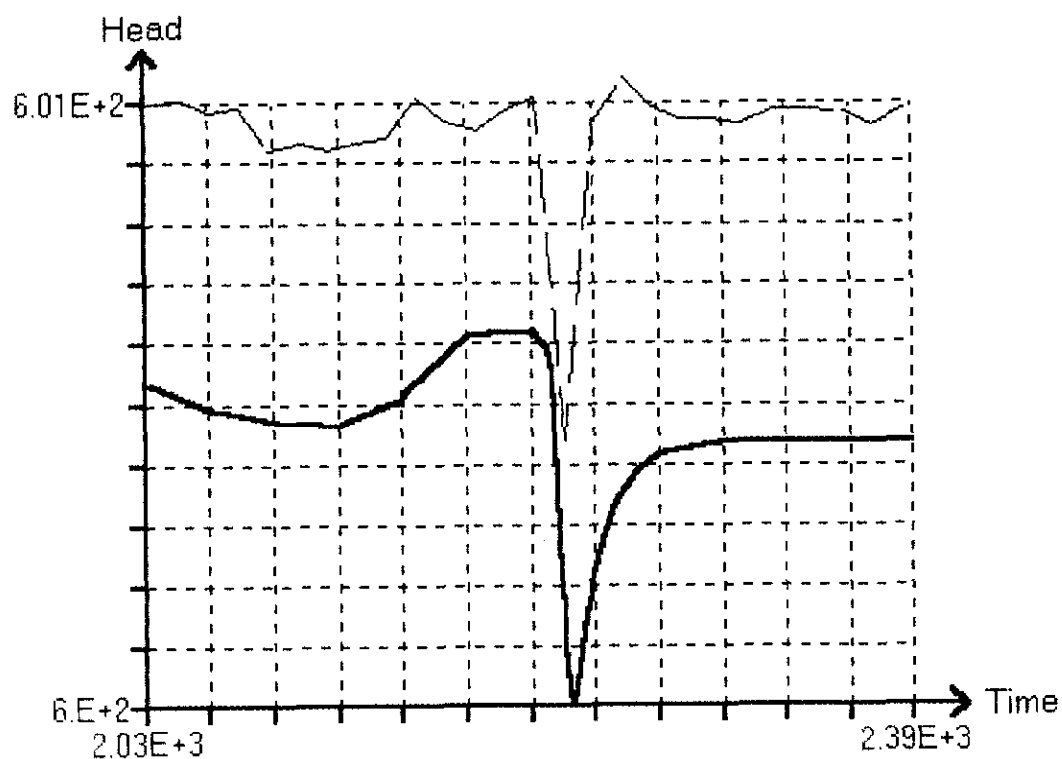
A partir de estos valores se realiza la simulación del período de tiempo Agosto 1996 - Julio 1997. En esta simulación se obtuvieron los valores de los niveles piezométricos en cada uno de los sondeos de la terraza y ladera, tanto en los cuaternarios como en los terciarios.

Esta evolución se encuentra representada en las gráficas siguientes para cada uno de los piezómetros. En ellas se puede observar la evolución del nivel piezómetro obtenida con el modelo (línea continua), comparada con la evolución seguida en las diferentes medidas realizadas en el mismo período de tiempo.

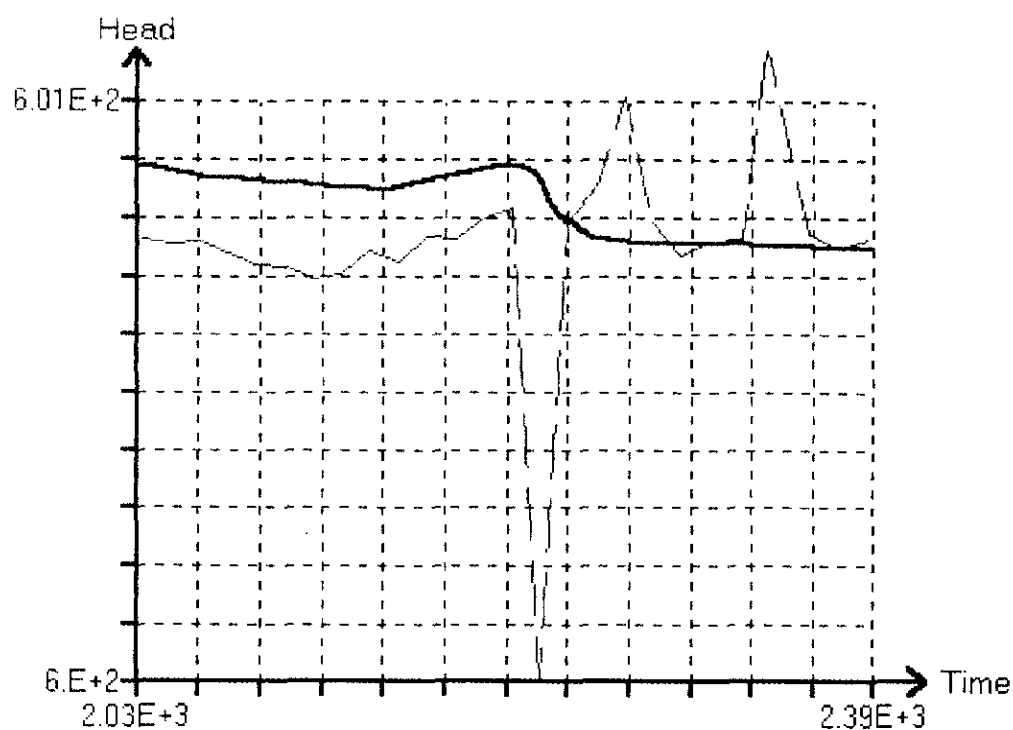
El eje de tiempos tiene su origen en el principio del mes de Agosto de 1996 y su final en Julio de 1997, correspondiéndose cada división de dicho eje a un mes del año hidrogeológico estudiado.

En el eje de alturas piezométricas se representan los niveles en los diferentes sondeos, para cada uno de ellos se expresa el nivel mínimo del eje y el máximo del mismo, correspondiendo cada una de las divisiones de este eje a 10 cm, excepto en la correspondiente al PQ6 que son 5 cm.

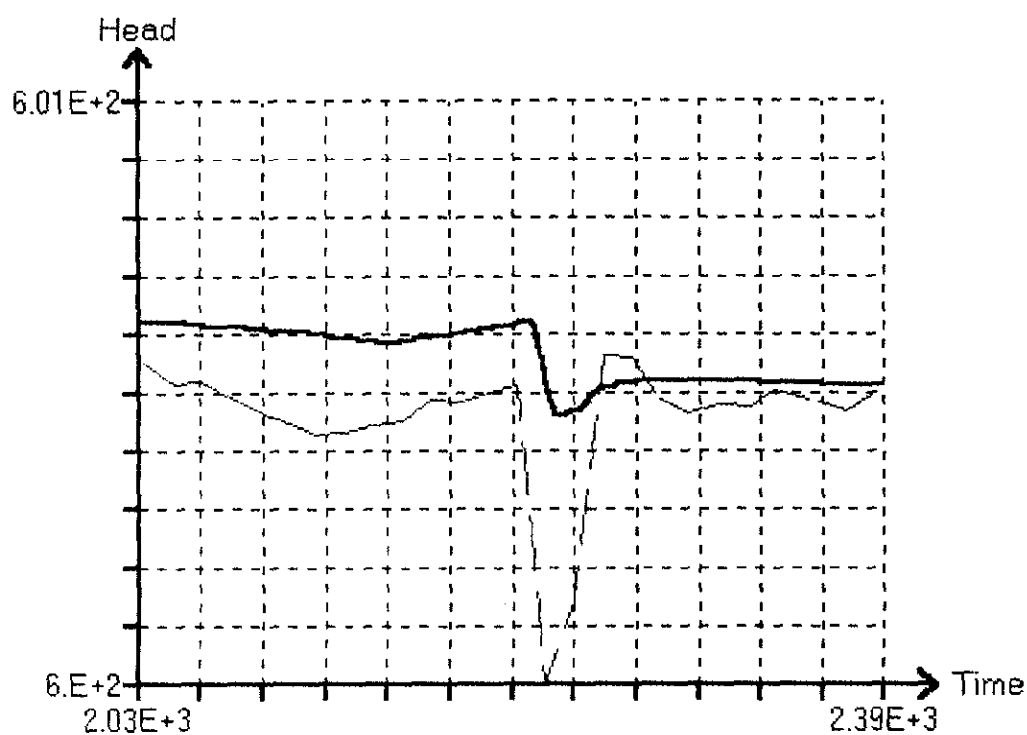
A continuación se presentan estas gráficas:



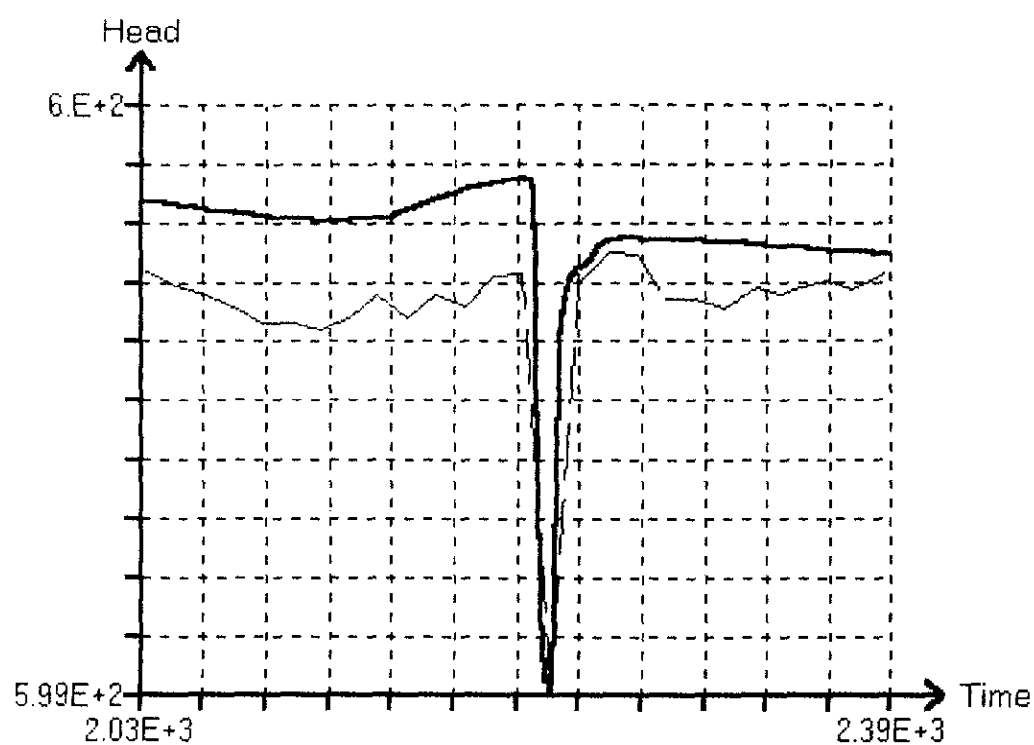
Piezómetro PQ1. Nivel mínimo 599.7 m. Nivel máximo 600.7 m.



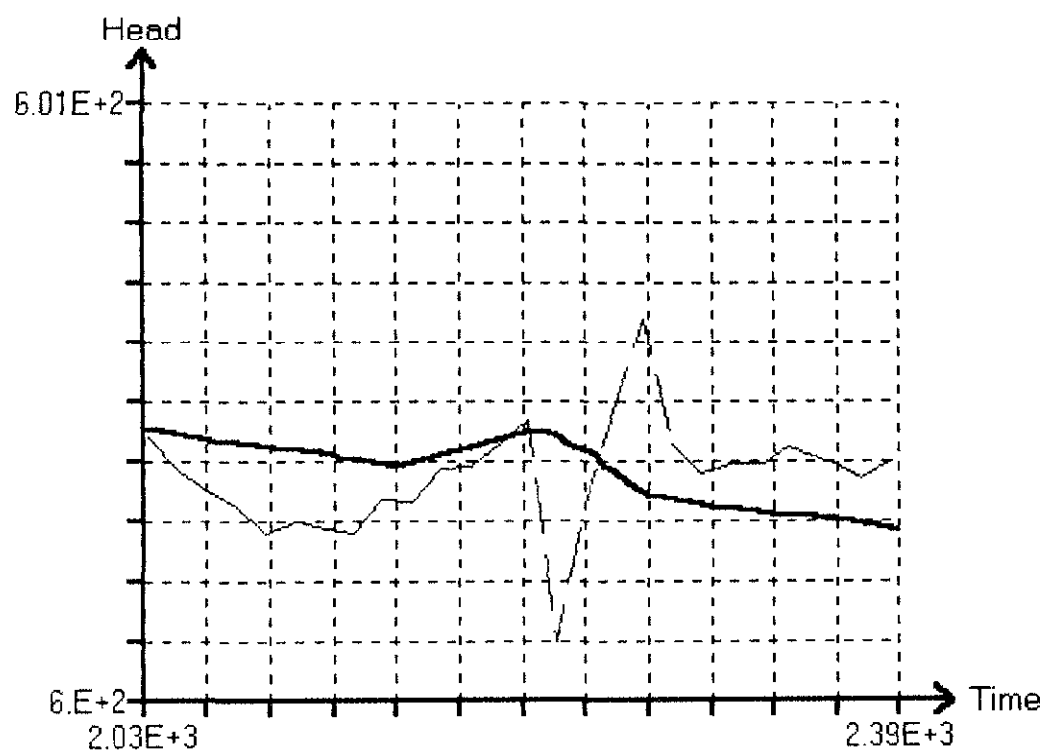
Piezómetro PQ2. Nivel mínimo 599.505 m. Nivel máximo 600.505 m.



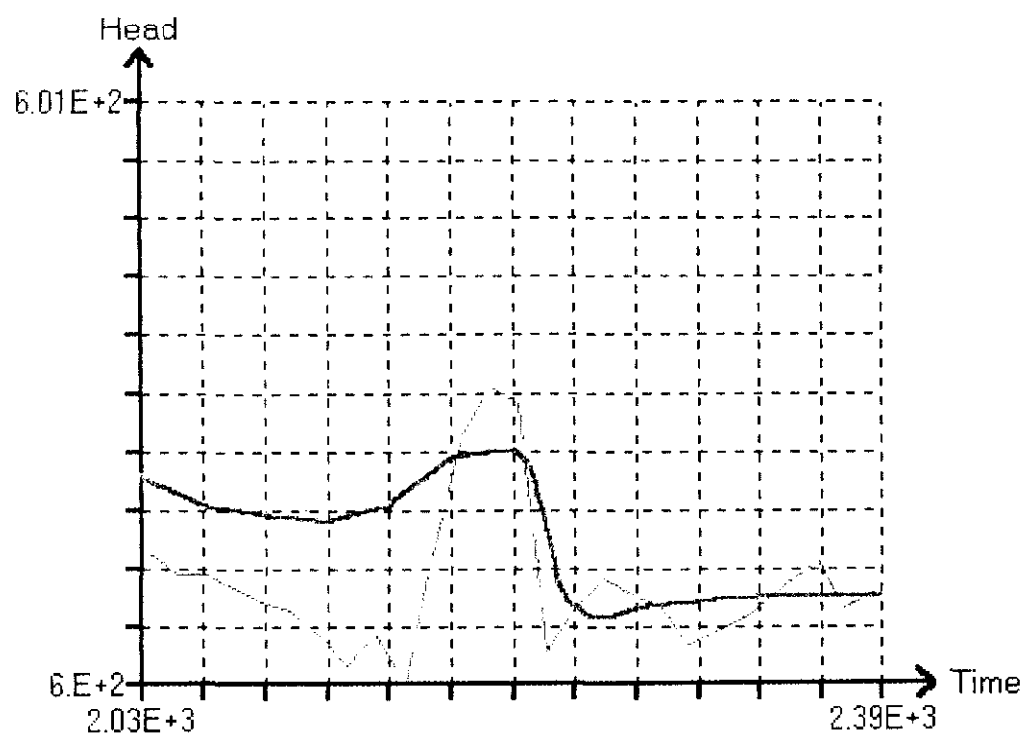
Piezómetro PQ3. Nivel mínimo 599.717 m. Nivel máximo 600.717 m.



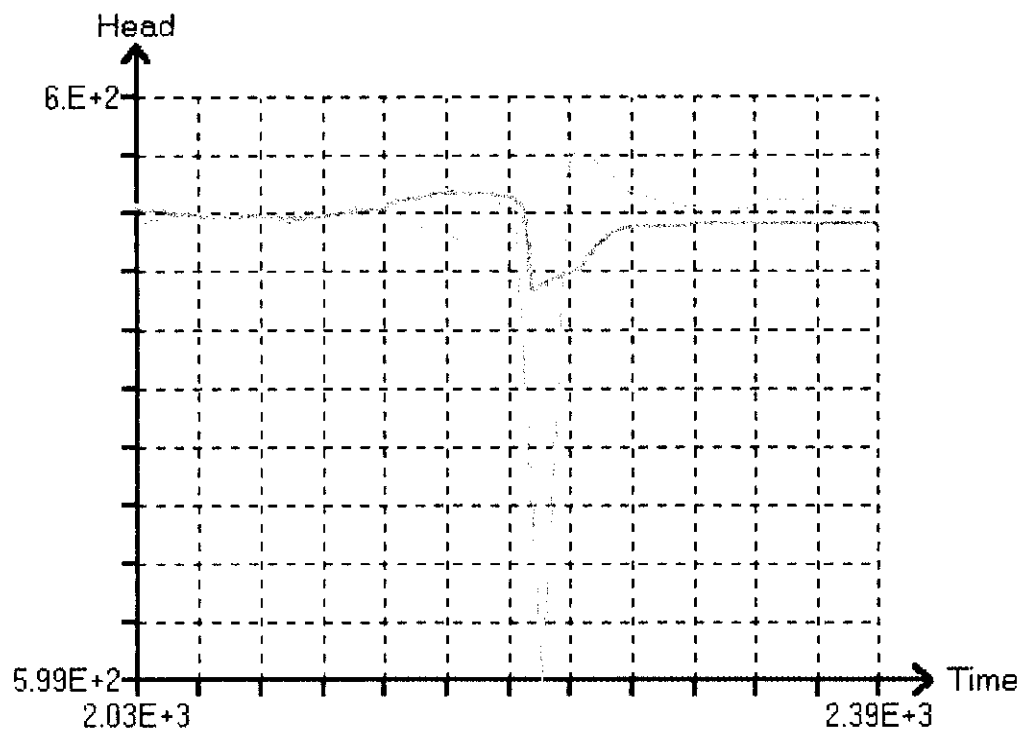
Piezómetro PQ4. Nivel mínimo 599.434 m. Nivel máximo 600.434 m.



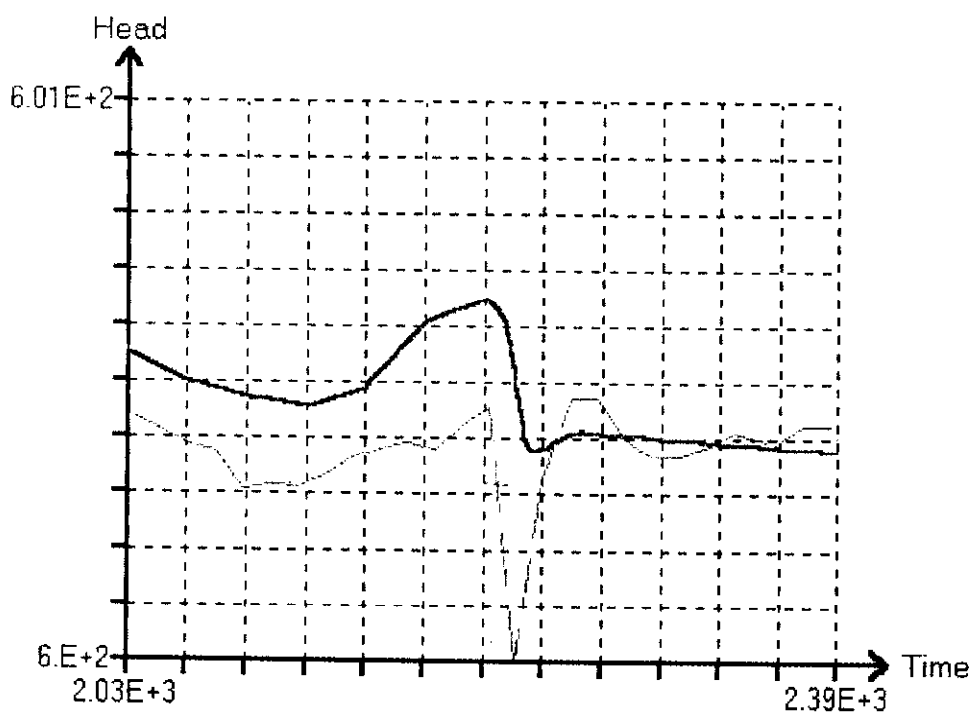
Piezómetro PQ5. Nivel mínimo 600.17 m. Nivel máximo 601.17 m.



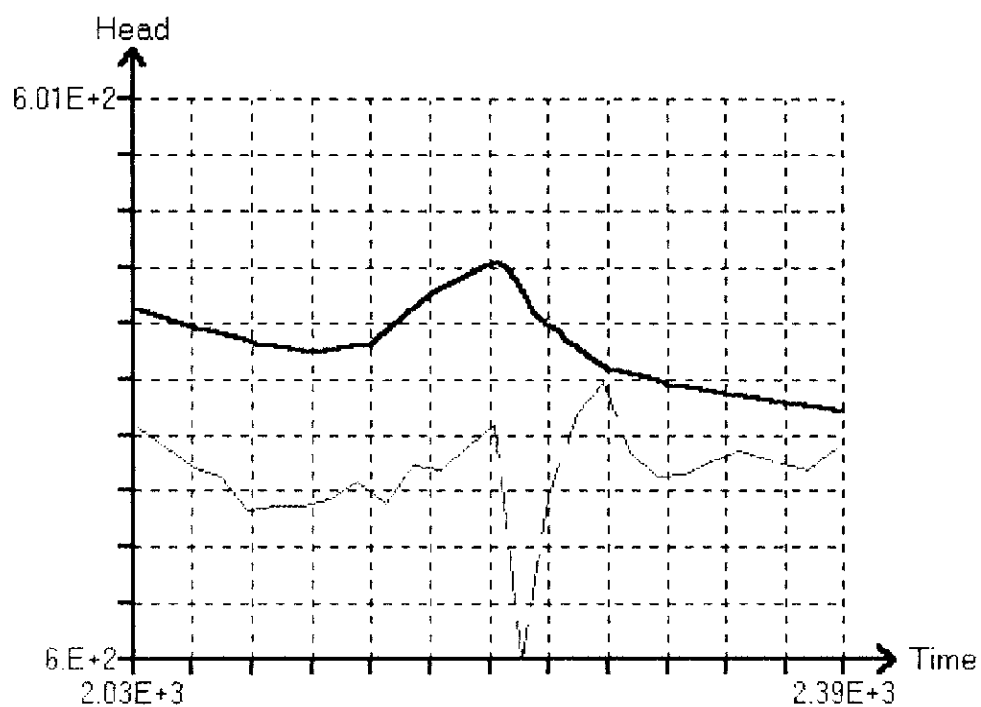
Piezómetro PQ6. Nivel mínimo 599.534 m. Nivel máximo 600.034 m.



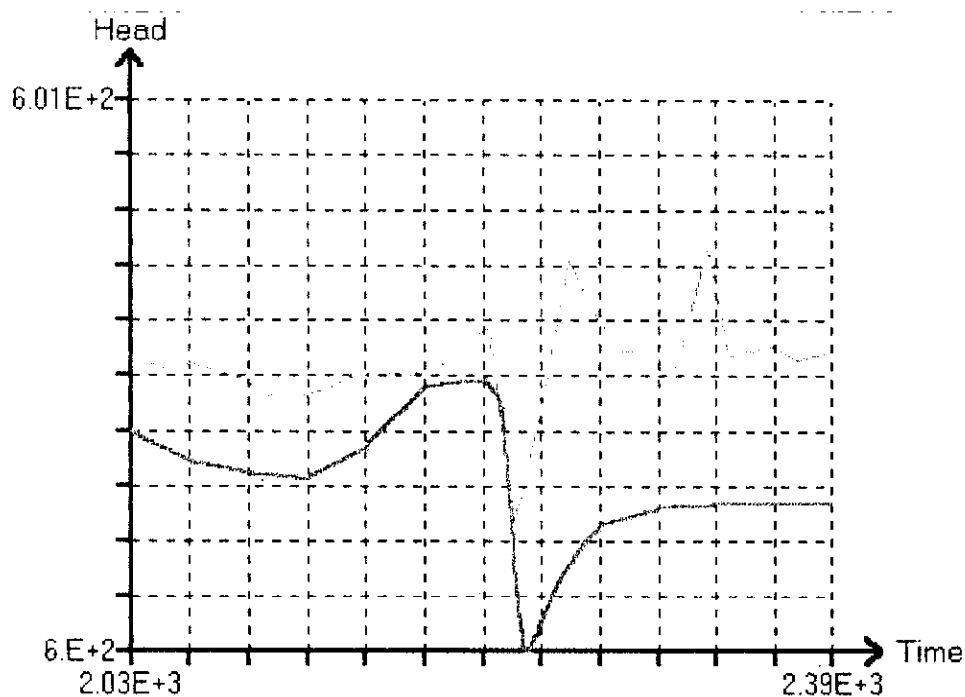
Piezómetro PQ7. Nivel mínimo 599.234 m. Nivel máximo 600.234 m.



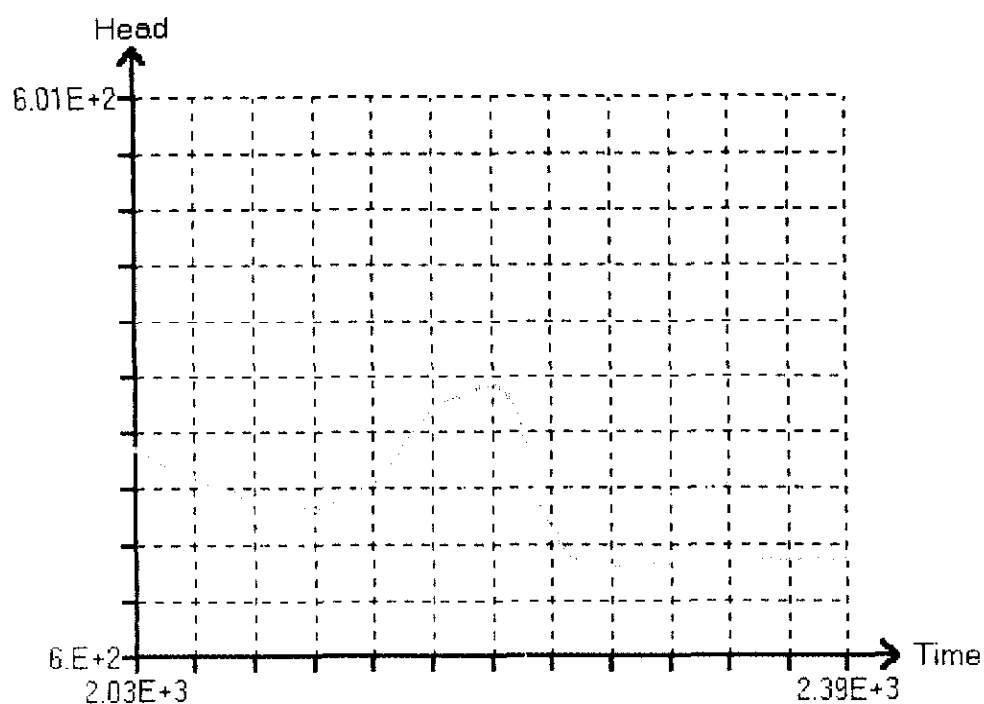
Piezómetro PQ8. Nivel mínimo 599.858 m. Nivel máximo 600.858 m.



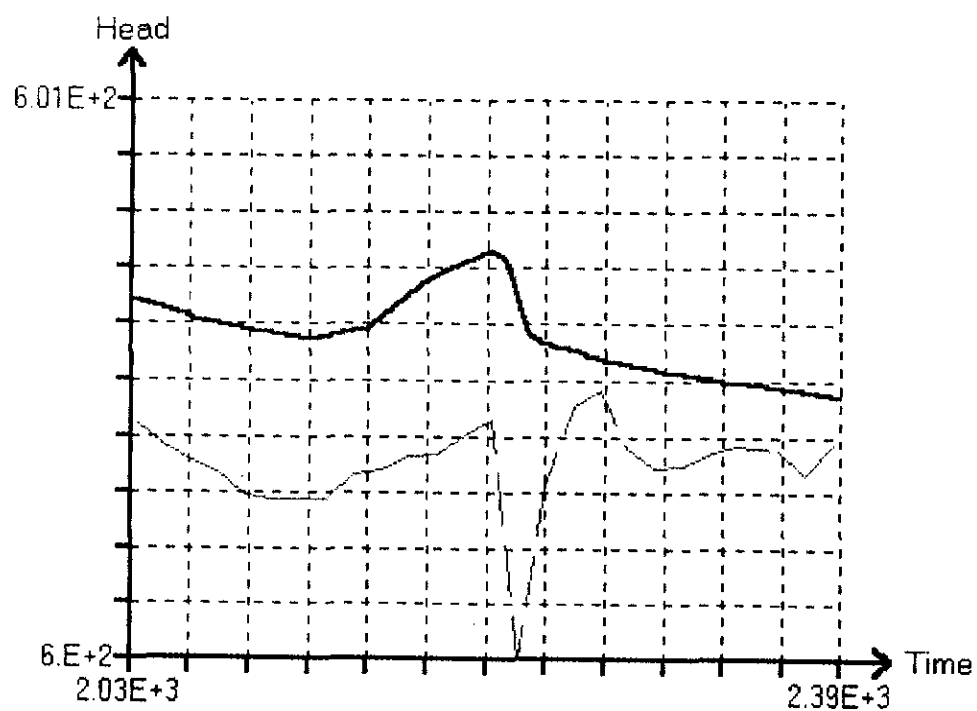
Piezómetro PQ9. Nivel mínimo 599.974 m. Nivel máximo 600.974 m.



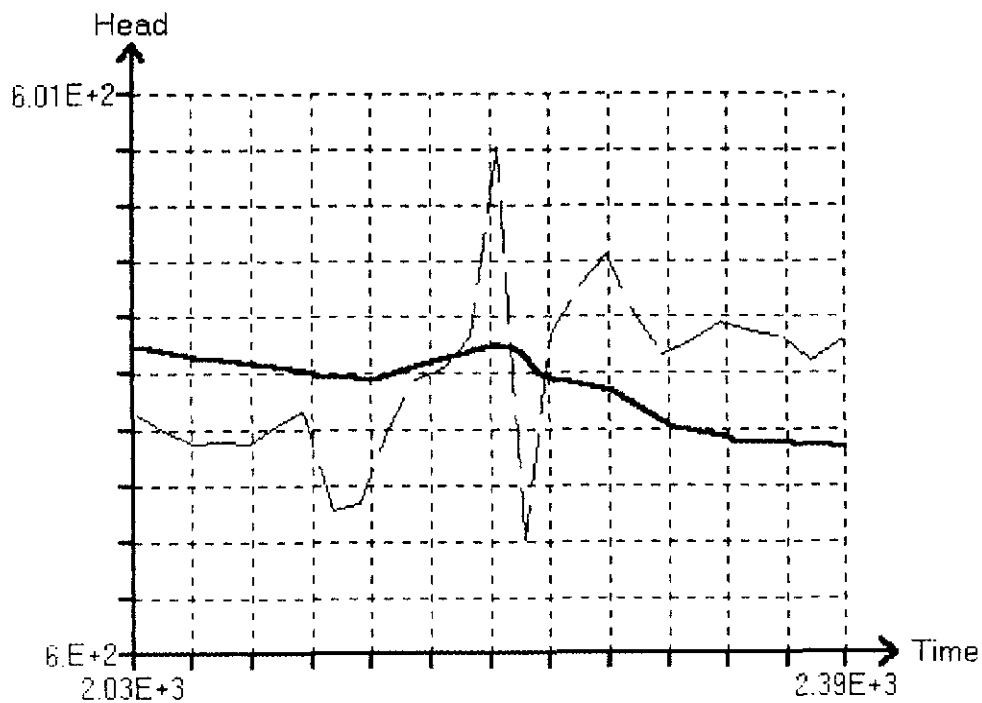
Piezómetro PQ10. Nivel mínimo 599.84 m. Nivel máximo 600.84 m.



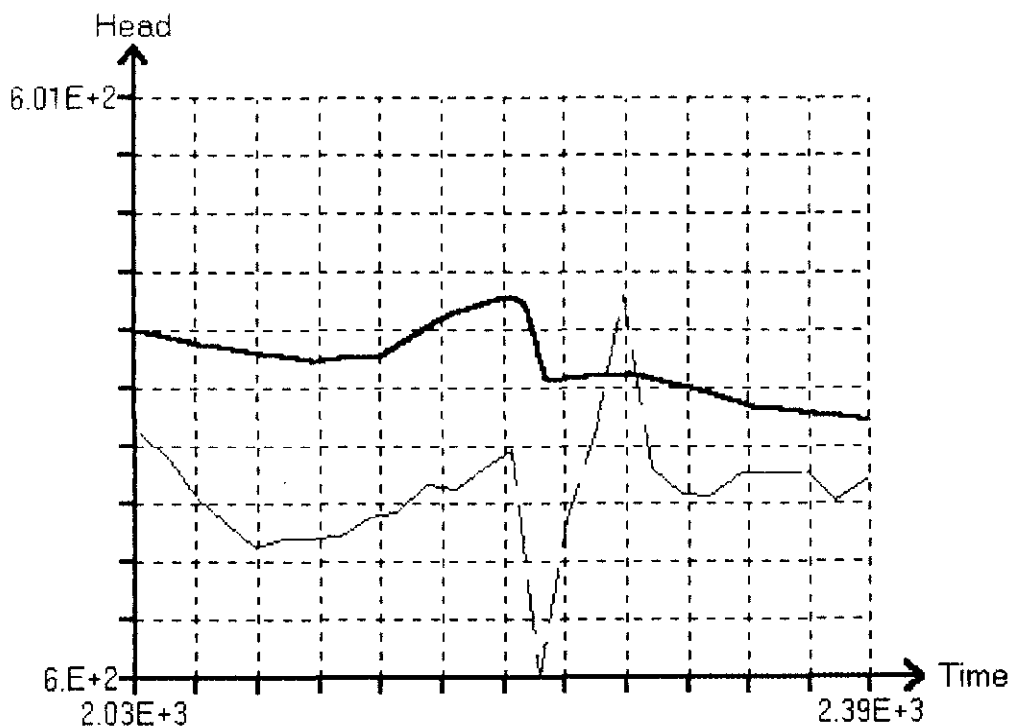
Piezómetro PQ11. Nivel mínimo 600.116 m. Nivel máximo 601.116 m.



Piezómetro PQ12. Nivel mínimo 599.881 m. Nivel máximo 600.881 m.

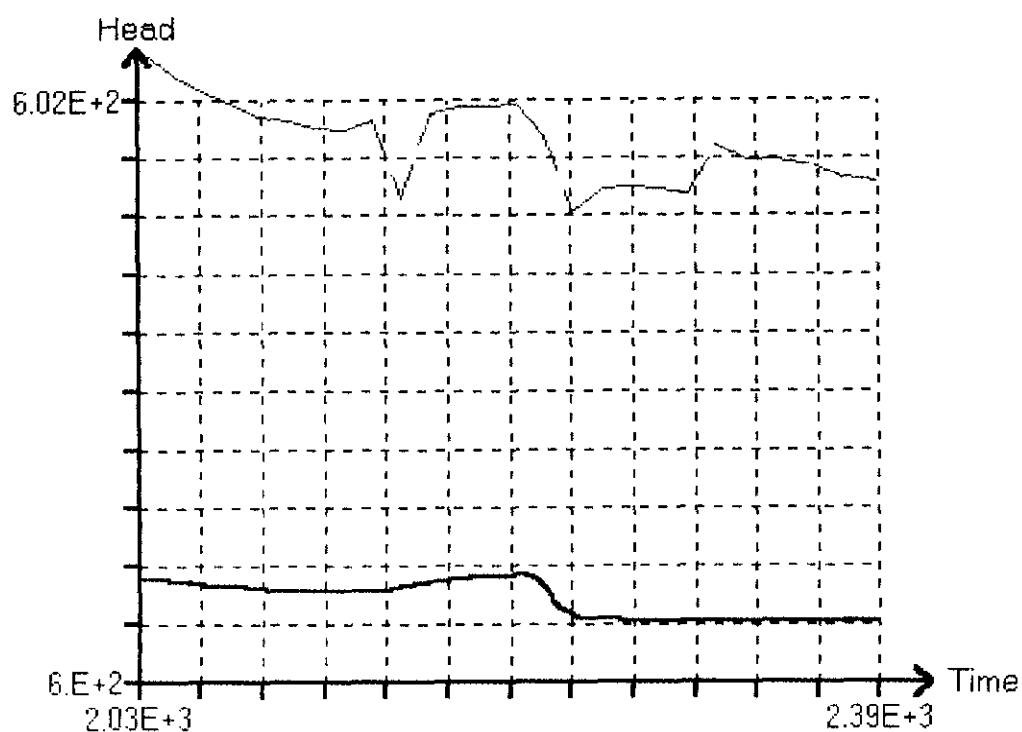


Piezómetro PR1. Nivel mínimo 600 m. Nivel máximo 601 m.

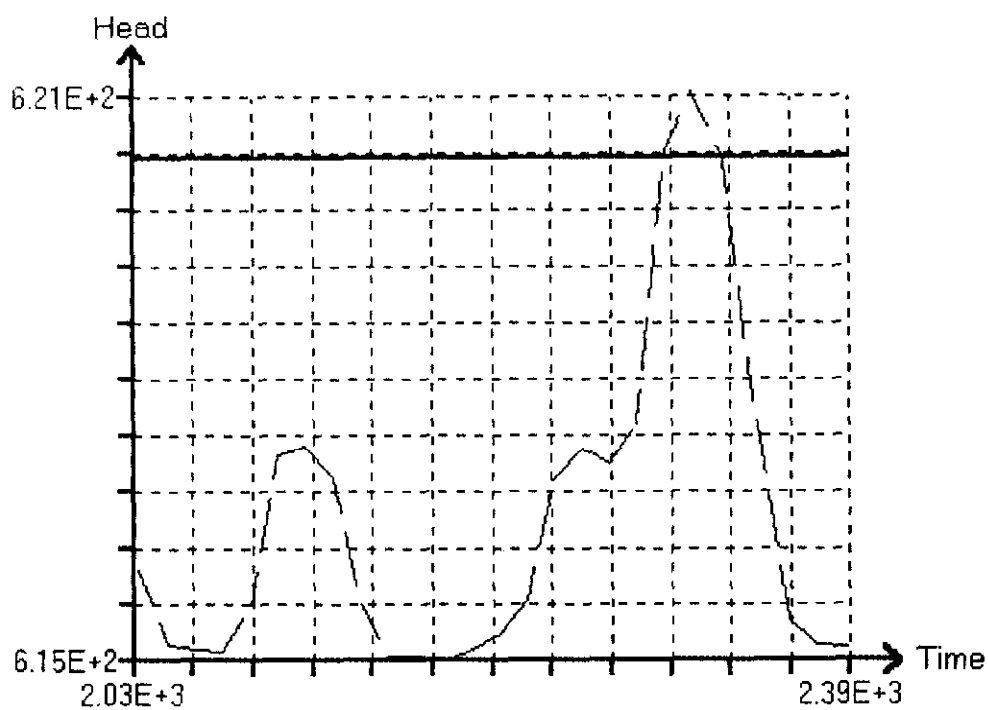


Piezómetro PR2. Nivel mínimo 599.96 m. Nivel máximo 600.96 m.

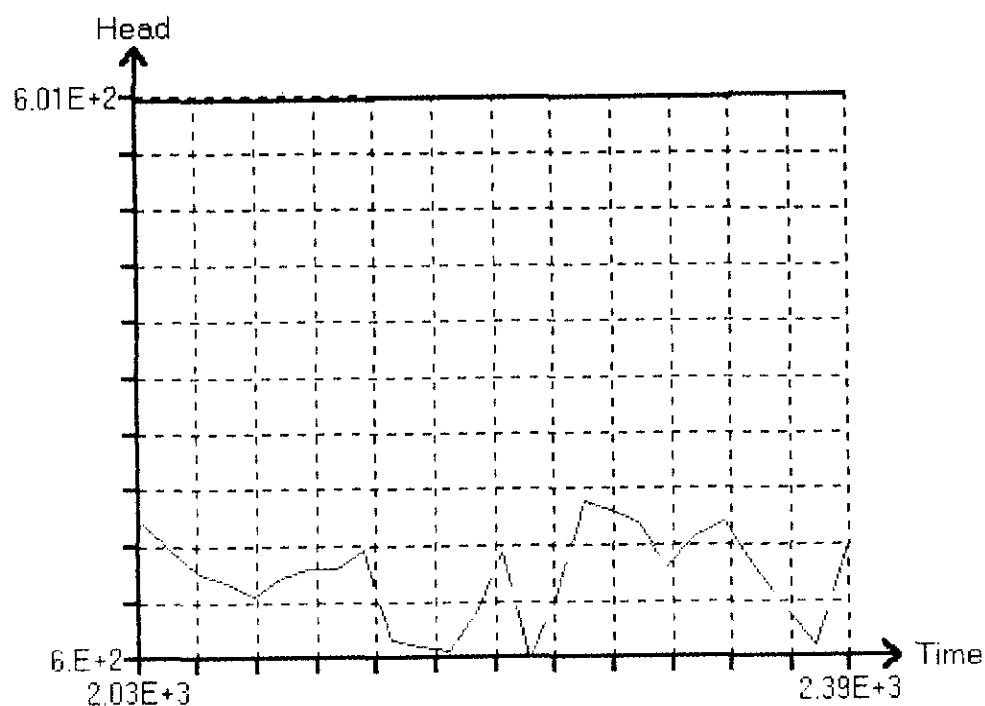




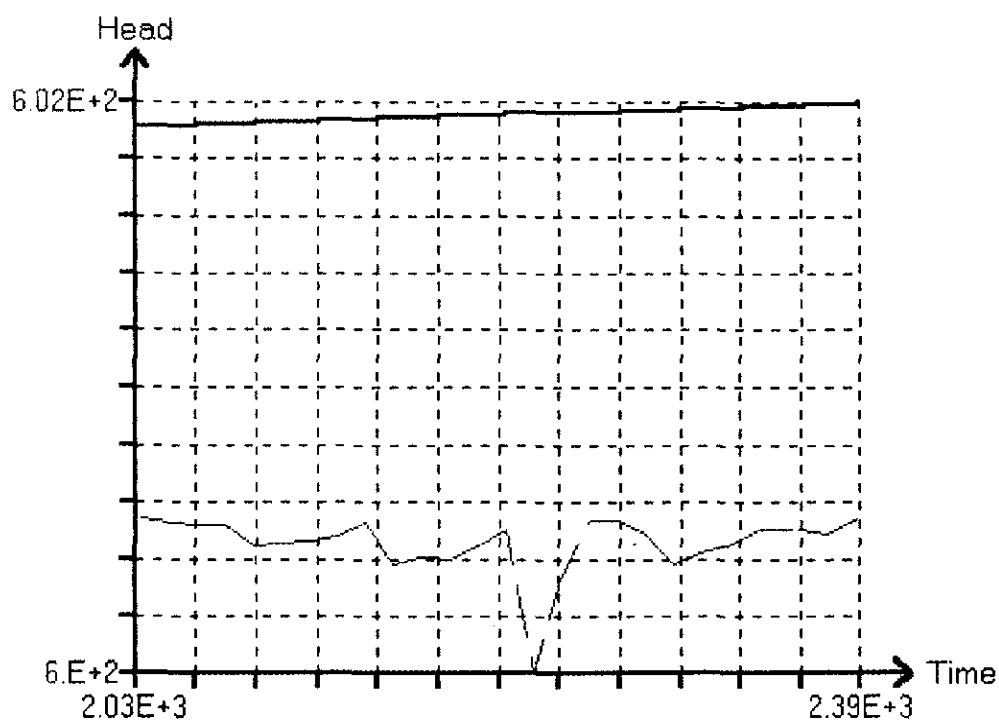
Piezómetro PR3. Nivel mínimo 600 m. Nivel máximo 602 m.



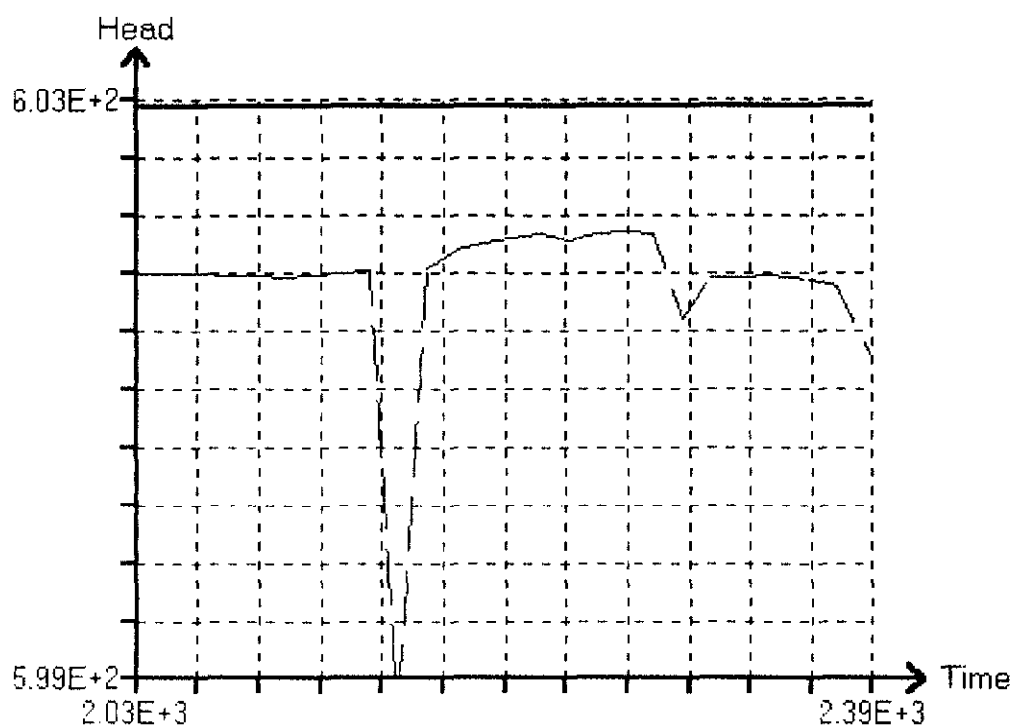
Piezómetro PT1. Nivel mínimo 615.34 m. Nivel máximo 621.34 m.



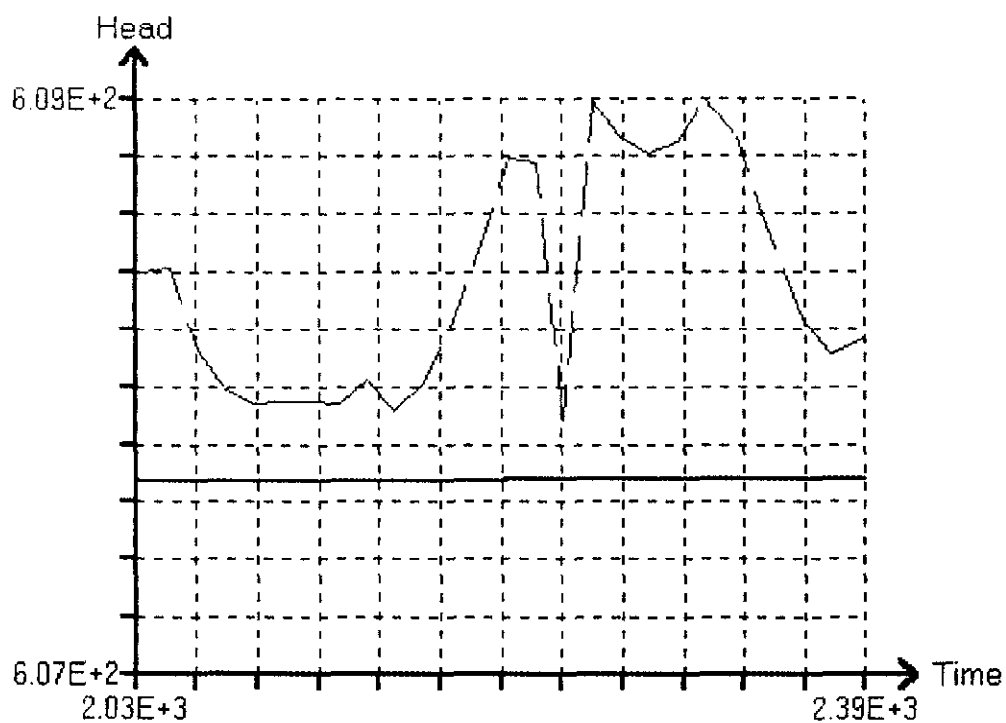
Piezómetro PT2. Nivel mínimo 600.357 m. Nivel máximo 601.357 m.



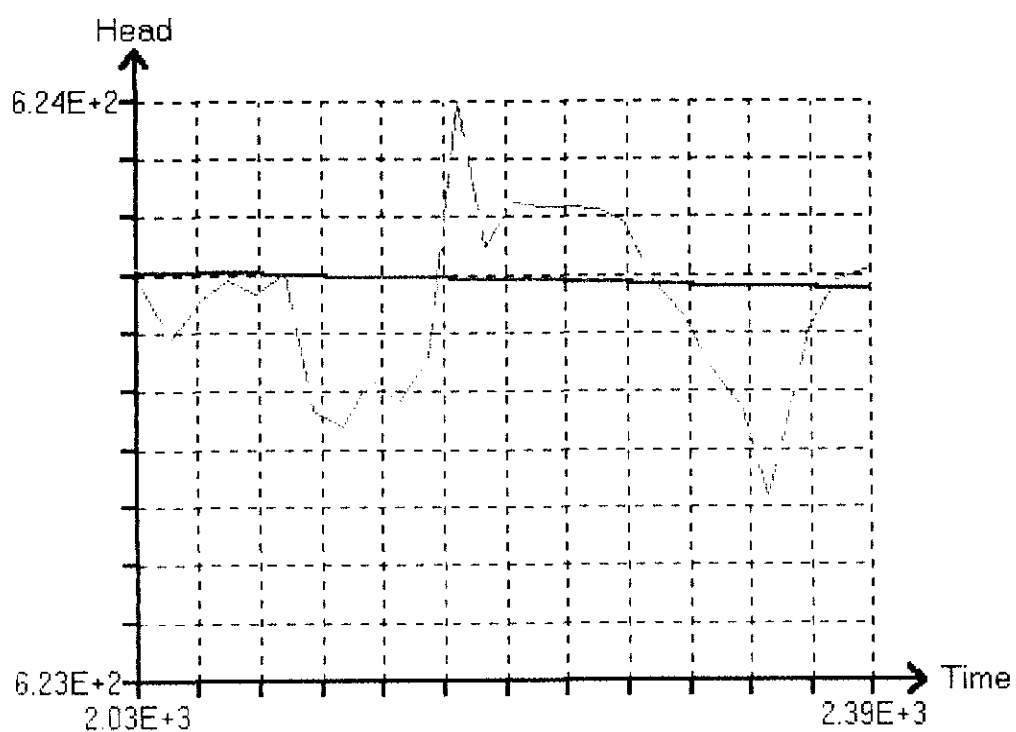
Piezómetro PT3. Nivel mínimo 600.281 m. Nivel máximo 601.8 m.



Piezómetro PT4. Nivel mínimo 598.5 m. Nivel máximo 602.5 m.



Piezómetro PT5. Nivel mínimo 607 m. Nivel máximo 609 m.



Piezómetro PT6. Nivel mínimo 623.37 m. Nivel máximo 624.37 m.

De las gráficas anteriores se pueden obtener una serie de conclusiones que se detallan a continuación:

▫ **Nivel Cuaternario.**

- El nivel piezométrico en la terraza está muy influenciado por el nivel del embalse. Este hecho se constata en la evolución representada de los niveles en el Cuaternario, en la que se observa como todos los piezómetros tienen un nivel medio que coincide prácticamente con el del embalse, así como en el descenso de nivel producido en todos ellos, en mayor o menor medida, en el mes de Febrero, como consecuencia de la bajada de nivel embalse.
- Los piezómetros situados más cerca del río responden a la bajada del embalse del mes de Febrero con unos descensos mayores que los más alejados. En el caso del piezómetro PQ4, se observa como el descenso real del nivel (línea discontinua) y el descenso producido en el modelo numérico (línea continua), son del mismo orden de magnitud.

El piezómetro PQ7 presenta un comportamiento anómalo en el modelo, como puede observarse en su gráfica de evolución correspondiente. Así, en las medidas reales realizadas, presenta un descenso apreciable en el mes de Febrero. Sin embargo, este descenso no es tan acusado en el modelo. Esto pudiera ser, entre otras causas, consecuencia de la cota tomada para la superficie de contacto Cuaternario - Terciario en el borde del río, cabiendo la posibilidad de que ésta sea demasiado alta, provocando en esta zona un espesor de Cuaternario demasiado bajo, lo que impediría una mayor comunicación entre el río y dicho acuífero.

- Los piezómetros etiquetados como PR presentan grandes diferencias entre los niveles calculados y los obtenidos. Este hecho, como se ha reiterado en este documento, es consecuencia del mal aislamiento del Terciario de estos piezómetros, por lo que se estima que las diferencias entre los niveles reales y calculados, no son debidas a inconsistencias del modelo.
- Los piezómetros situados en la zona más alejada del río, más cercanos a la ladera, como pueden ser PQ5 o PQ9, tienen en el modelo un descenso mucho menor que el producido en la evolución real, llegando incluso a ser imperceptible. Este hecho, junto con el que piezómetros cercanos al río como PQ1 y PQ10, en los que se observa un nivel medio calculado por el modelo menor que el descenso real, hace pensar en la posible heterogeneidad de la terraza.

Esta heterogeneidad pudiera ser debida, no a los materiales del Cuaternario, que se pueden considerar más o menos homogéneos, sino a la topografía de la Superficie de Contacto, que resulta especialmente heterogénea, y de la cual no se tiene un conocimiento exacto. Dada la amplitud y heterogeneidad de esta Superficie, el conocimiento exacto de su forma resultaría casi imposible, ya que precisaría un estudio con una discretización espacial inabordable.

Estos hechos, no obstante, se estima que no condicionan la validez del modelo numérico realizado, ya que el funcionamiento general de la terraza, obtenido con el modelo, tiene unas características muy similares al comportamiento real deducido de la campaña de seguimiento.

#### □ Nivel Terciario.

- La evolución de los niveles medidos en el acuífero inferior (Terciario), parecen indicar una cierta independencia entre los acuíferos inferior y superior.
- Esta independencia resulta total a la vista de la evolución calculada en el modelo, observándose diferencias entre los niveles calculados y obtenidos como consecuencia de filtraciones a través del pozo de niveles superiores.

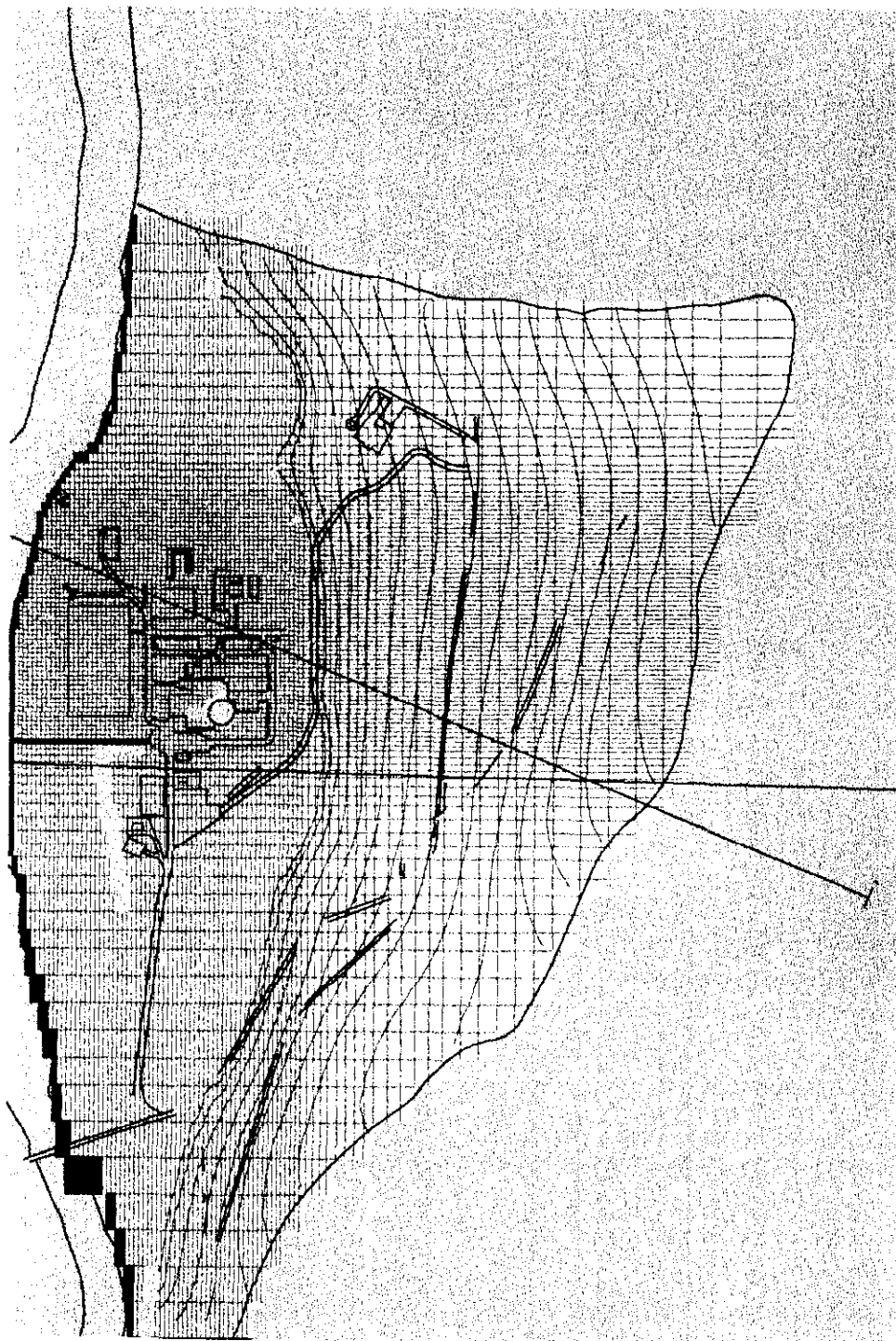
A la vista de las gráficas anteriores se pueden considerar que el modelo refleja bastante bien el funcionamiento de la terraza, observándose diferencias en algunos piezómetros, comentadas en los puntos anteriores, que pueden considerarse de carácter local y que no condicional la validez del modelo.

Por lo que respecta a las isopiezas y las líneas de corriente, calculadas por el modelo en cada una de las situaciones dadas en el año hidrogeológico simulado se pueden observar en las figuras incluidas en este documento, que se comentan a continuación.

#### □ Situación Inicial.

(Figura 13.11.1-1). Esta situación corresponde al inicio del mes de Agosto de 1996. La situación de la que se parte para comenzar la simulación, es una situación estacionaria, en la que los niveles piezométricos en la terraza se mantienen constantes. Para este estacionario se utilizan como recargas las calculadas a partir de la

Figura 13.11.1-1. Isopiezas calculadas por el modelo Agosto 1996 (600 m - 680 m  
Incr. 5 m).



serie histórica. En la figura se observa un flujo general en dirección perpendicular al río.

Este se aprecia con más detalle en la Figura 13.11.1-2.

- Inicio de las recargas Octubre 96, (figura 13.11.1-3). En este período (Agosto 96 - Octubre 1996) se produce un pequeño descenso en los niveles debido a la ausencia de recarga en dicho período. El flujo sigue siendo hacia el río y el canal de descarga de la Central.
- Período de recargas, (figura 13.11.1-4, final de Enero 1997). Corresponde al período para el que las precipitaciones son mayores que la ETP real, y por lo tanto existe un aporte de agua a los acuíferos. Este período es el correspondiente a los meses de Noviembre y Diciembre de 1996 y Enero de 1997. Los niveles en la terraza aumentan respecto a los medidos en la situación anterior.
- Día de máximo descenso (figura 13.11.1-5). El día 12 de Febrero de 1997 se produce el nivel mínimo en la cota del embalse (597.57 m). Este hecho hace que se produzca un descenso generalizado en los niveles piezométricos en la terraza, siendo más acentuado el que se produce en la parte más cercana al río. Se observa como en este día, en la simulación realizada, se encuentran secas las celdas (color gris) del borde del río excepto las correspondientes al canal de descarga de la Central y las correspondientes a la salida del paleocanal, tanto aguas arriba como aguas abajo.
- Día 28 de Febrero de 1997, (figura 13.11.1-6). Se observa un flujo general hacia el río, pero en las celdas más cercanas a éste se observa como el flujo es precisamente en dirección contraria, es decir del río hacia el acuífero, ya que este se está recargando desde el río que ya tiene de nuevo su nivel habitual de 600m. En esta imagen aparecen zonas de agua estancada, donde las velocidades son especialmente bajas debido al choque del flujo hacia el río de la terraza y el producido desde el río hacia la terraza.

En este período todavía no se ha producido totalmente la recuperación del nivel en las celdas de borde del río que aún se encuentran secas, produciéndose la recarga de la terraza a través del paleocauce y del canal de descarga.

Este efecto de recarga del acuífero desde el río, debido a la subida de nivel del embalse, se aprecia en la Figura 13.11.1-7. En dicha figura se presenta la simulación del movimiento de una serie de partículas desde el día 12 de Febrero de 1997 durante un período de 180 días.



Figura 13.11.1-2. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo Agosto 1996 (600 m - 601 m Incr. 0,1 m).

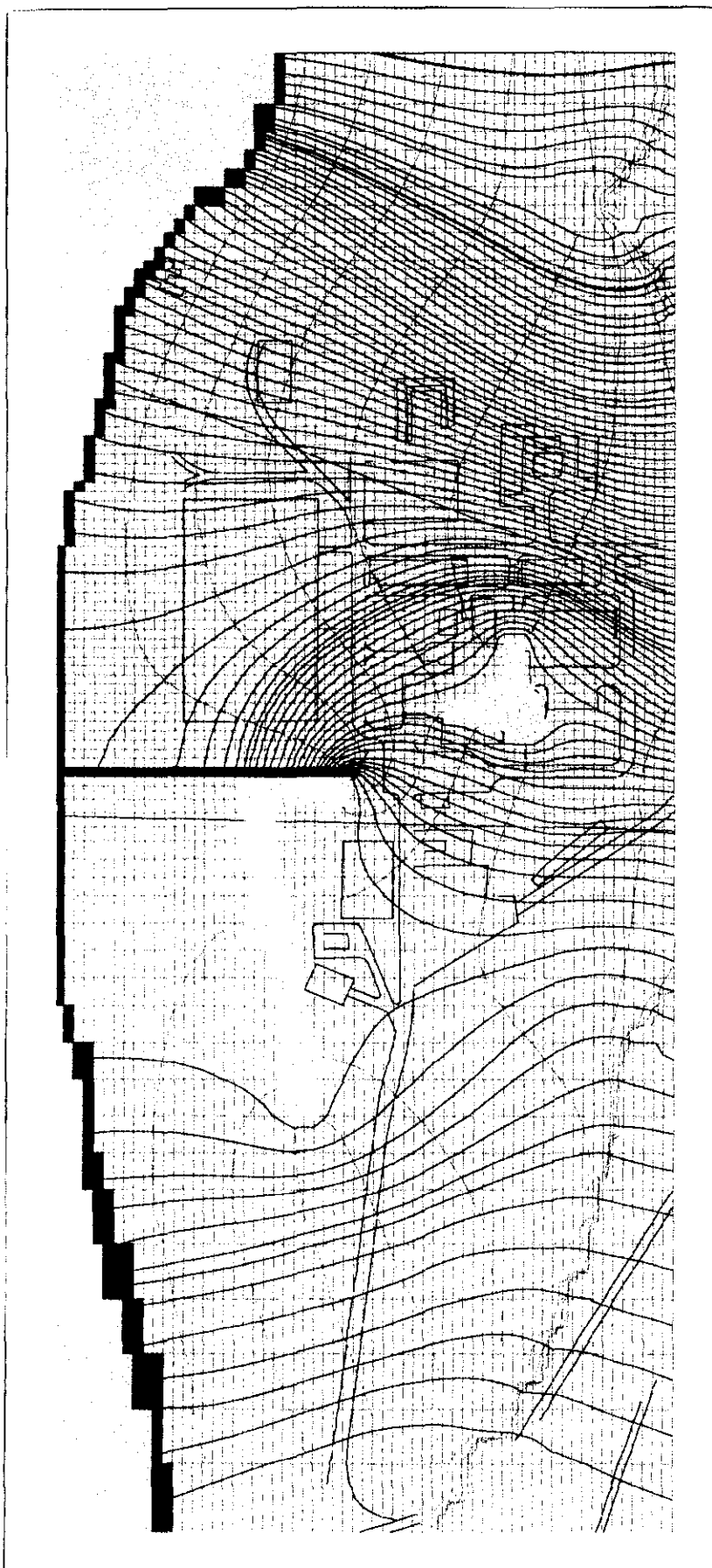


Figura 13.11.1-3. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo 31  
Octubre 1996 (600 m - 601 m Incr. 0,1 m).

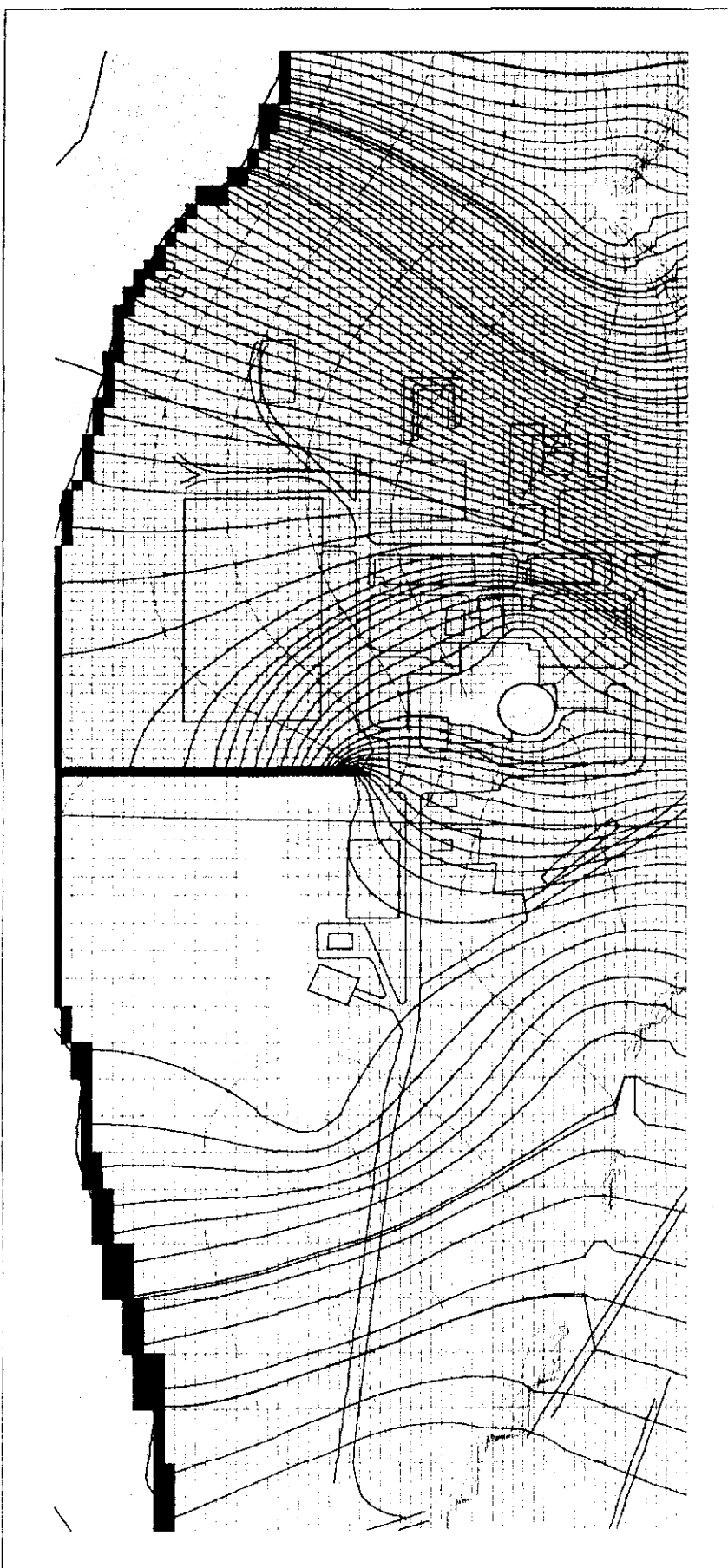


Figura 13.11.1-4. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo 31 Enero 1997 (600 m - 601 m Incr. 0.1 m).

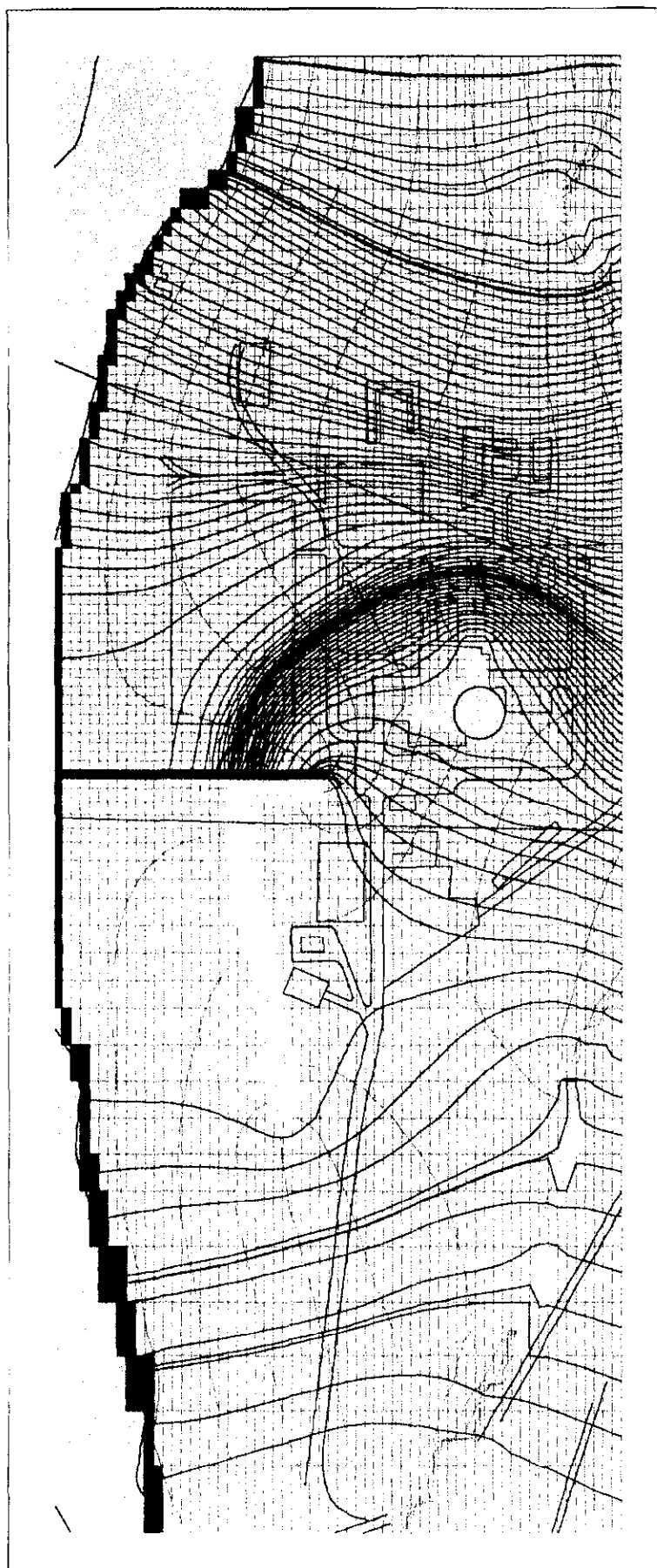


Figura 13.11.1-5. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo 12 Febrero 1997 (597.6 m - 601 m Incr. 0.1 m).

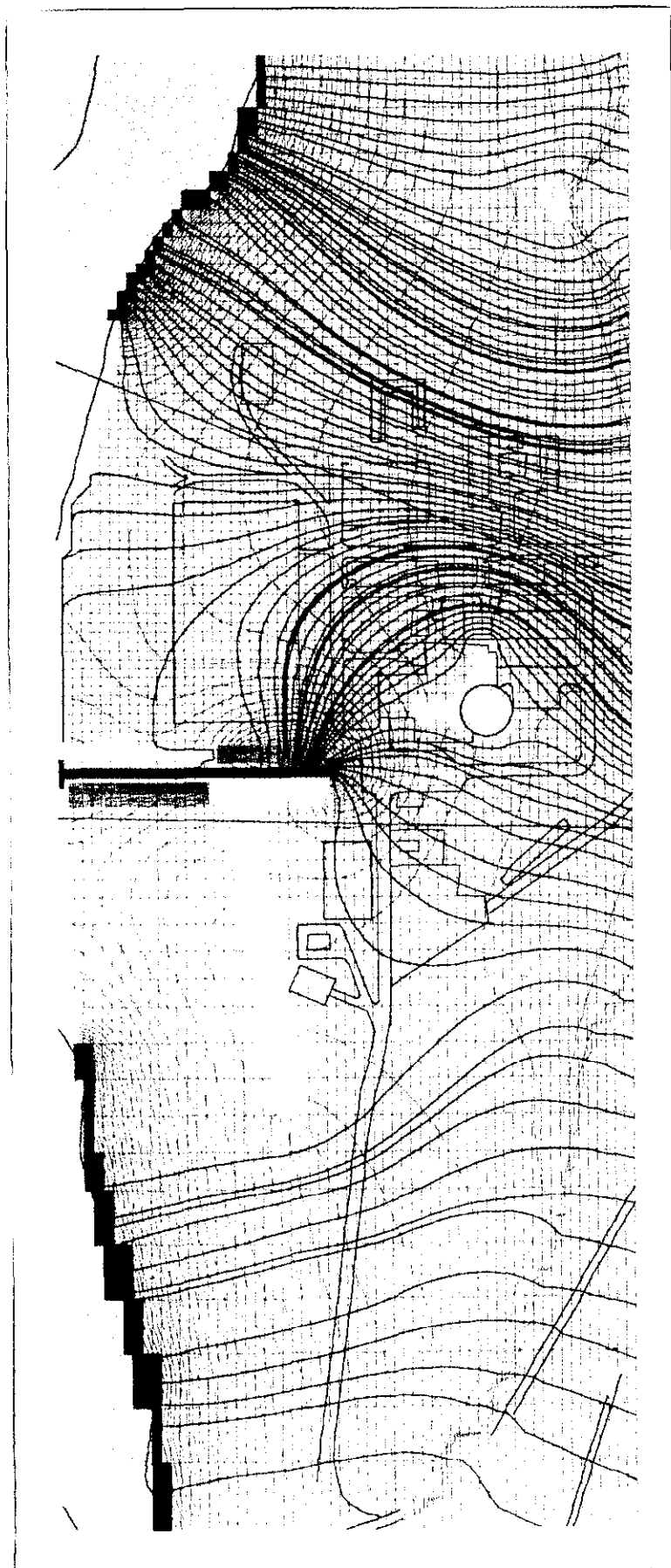


Figura 13.11.1-6. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo 28 Febrero 1997 (600 m - 601 m Incr. 0.1 m).

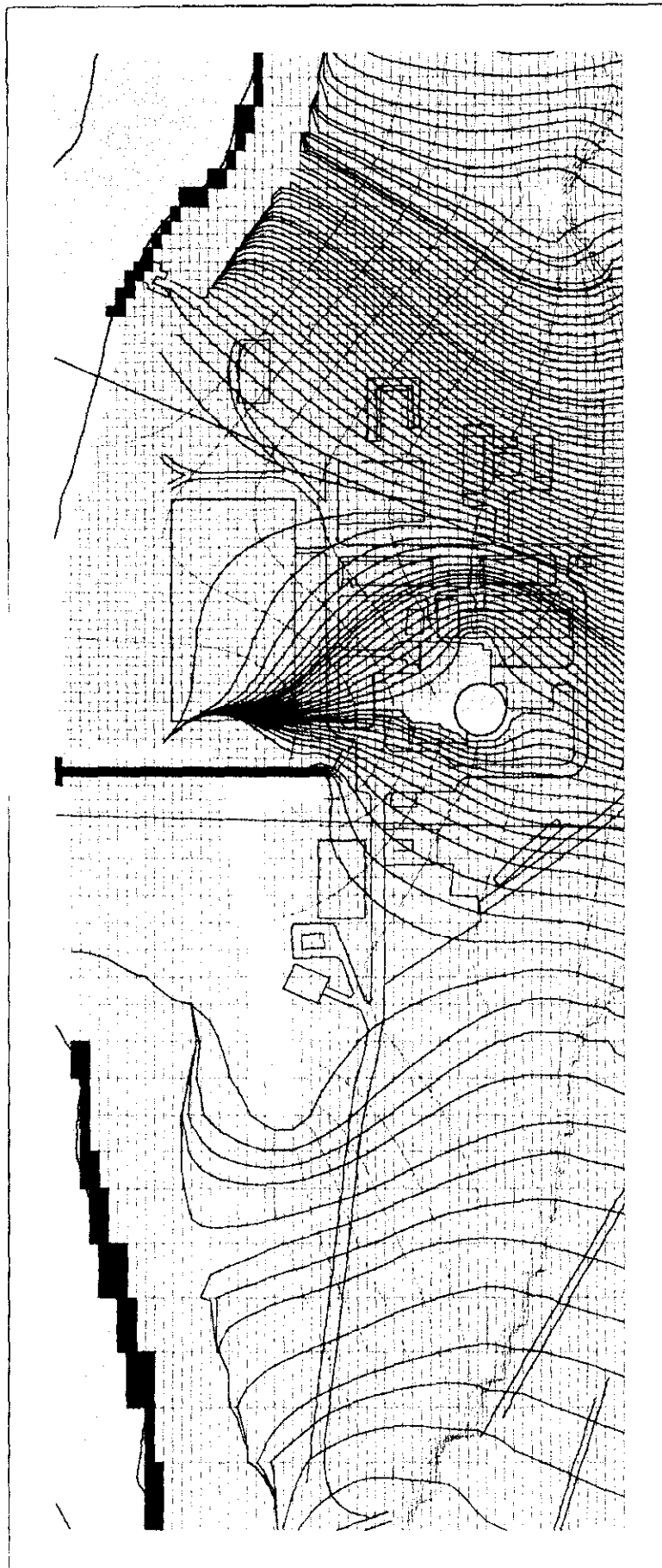
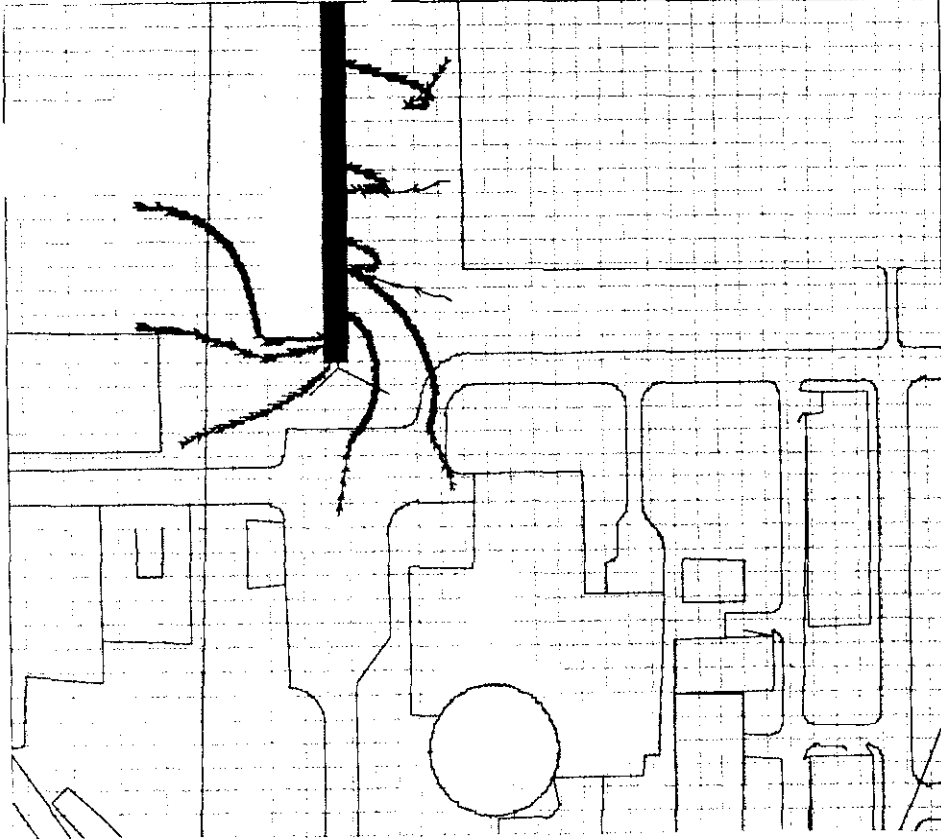


Figura 13.11.1-7. Líneas de corriente calculadas a partir de 12 Febrero de 1997.



En ella se observa como las partículas presentan una trayectoria inicial hacia el canal de descarga, produciéndose durante el período de subida del nivel un cambio de trayectoria, con un giro de hasta 180 grados en algunos de los casos, una vez se recupera el nivel del embalse (figura 13.11.1-8, correspondiente al día 31 de Marzo) las partículas vuelven a avanzar en dirección hacia el canal de descarga.

Por otro lado en esta imagen también se aprecia el efecto barrera de las torres de refrigeración en el camino del agua hacia el embalse, provocando asimismo que el efecto de la subida de nivel del embalse en las zonas situadas detrás de las torres sea menos rápido que en las demás zonas donde no se sufre esta interacción.

- Final del año hidrogeológico (figura 13.11.1-9). La situación final del año hidrogeológico se representa en esta figura correspondiente al día 30 de Julio, en la que se advierte el flujo general hacia el río en la terraza.

### 13.11.2. ANALISIS DE ESCENARIOS.

Una vez calibrados los parámetros del modelo, y realizada la simulación del año hidrogeológico en estudio, se realizó un análisis de escenarios con el mismo.

Este análisis de escenarios permite predecir la situación del acuífero en diferentes situaciones que puedan producirse en el futuro. En este caso se realizaron análisis en dos parámetros del modelo que se observó tenían mucha influencia sobre el comportamiento hidrogeológico de los acuíferos en estudio.

- Nivel del embalse.
- Precipitaciones.

Para el estudio se realizaron simulaciones combinando diferentes valores para estos parámetros.

#### ▫ Recargas máximas.

Dentro del intervalo definido para las recargas, se tomaron los valores máximos para la serie histórica y se realizaron dos simulaciones con diferentes hipótesis de niveles del embalse. Estas simulaciones se realizaron en régimen estacionario.

Figura 13.11.1-8. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo 31 Marzo de 1997 (600 m - 601 m Incr. 0.1 m).

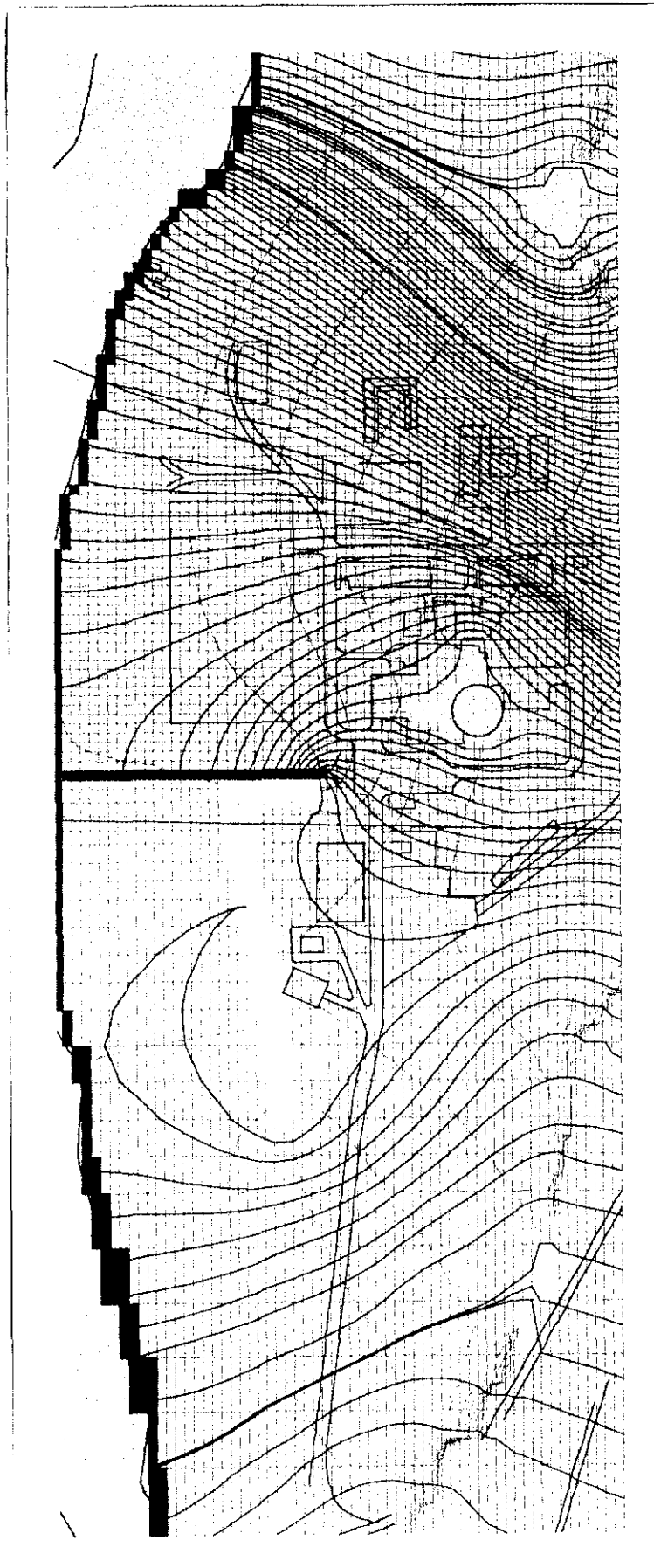
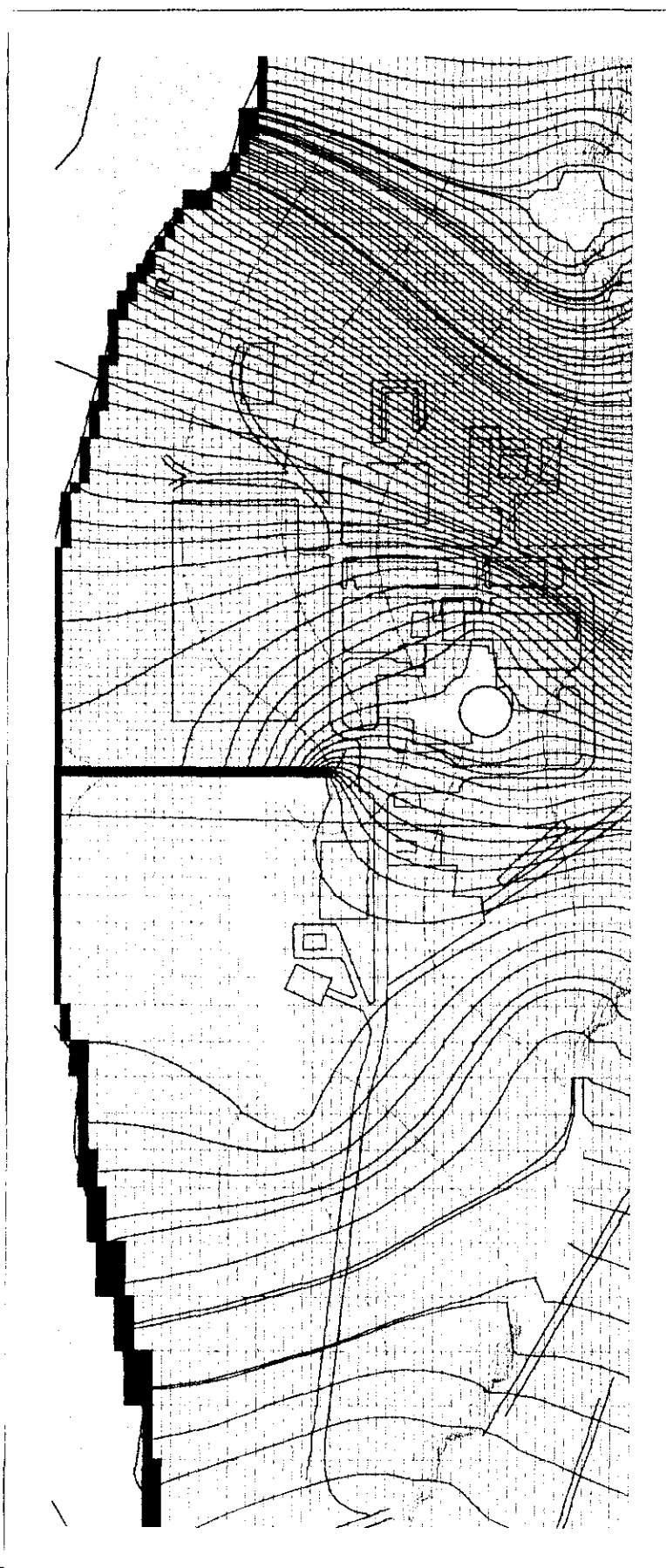




Figura 13.11.1-9. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo 30 Julio 1997 (600 m - 601 m Incr. 0.1 m).



- Nivel del embalse 600m.

Los resultados de esta simulación se pueden observar en la figura 13.11.2-1. En esta figura se representan las isopiezas desde 600 m (nivel del embalse y situado en las celdas azules del borde de terraza) hasta los 680 m, altura piezométrica en la parte más alta de ladera.

Se observa en esta misma figura como en régimen estacionario, la parte superior de la ladera, hacia el borde Sur del modelo, se encuentra seca (color gris).

Por otro lado, el flujo, representando mediante las líneas de corriente, se observa que en todo momento se encuentra en dirección hacia el río, siendo las velocidades en la terraza considerablemente mayores en la parte de ladera, lo que parece lógico al tratarse esta última zona de Terciario alterado, menos permeable que el Cuaternario de terraza.

Para conocer con más detalle las velocidades y tiempos de residencia en la terraza se analizó el transporte colectivo de partículas representado en la Figura 13.11.2-2. Se representan las líneas de corriente en terraza desde 600 m (nivel de embalse) a 601 m (aproximadamente nivel piezométrico en la interfase de la terraza - ladera), con un incremento de 25 cm entre isopiezas.

En dicha figura se representa el transporte convectivo de partículas desde el edificio correspondiente al Almacén nº 1. Las trayectorias de las partículas tienen dirección hacia el canal, no haciéndolo de forma directa sino bordeando la parte del reactor y edificio auxiliar incrustado en el Terciario sano. El tiempo de llegada de la primera partícula al canal es de 240 días (cada marca en forma de punta de flecha corresponde a 20 días), llegando la última de las representadas a dicho canal a los 620 días (aproximadamente) del comienzo del movimiento.

El flujo entre el acuífero superior, Cuaternario y Terciario alterado, y el inferior, Terciario sano, es prácticamente inexistente en el modelo realizado. Este hecho ya se constataba al observar la evolución de los niveles piezométricos en el Terciario. Esto también se observa en la figura 13.11.2-3 correspondiente a la representación del transporte de partículas comentado anteriormente, con sus respectivos cortes en dirección Norte - Sur (en más detalle en la figura 13.11.2-4) y Este - Oeste (en más detalle en la figura 13.11.2-5, se aprecia como la trayectoria de las partículas es prácticamente paralela al contacto Cuaternario-

Figura 13.11.2-1. Isopiezas y líneas de corriente calculadas por el modelo con recargas máximas (600 m - 680 m Incr. 5 m).

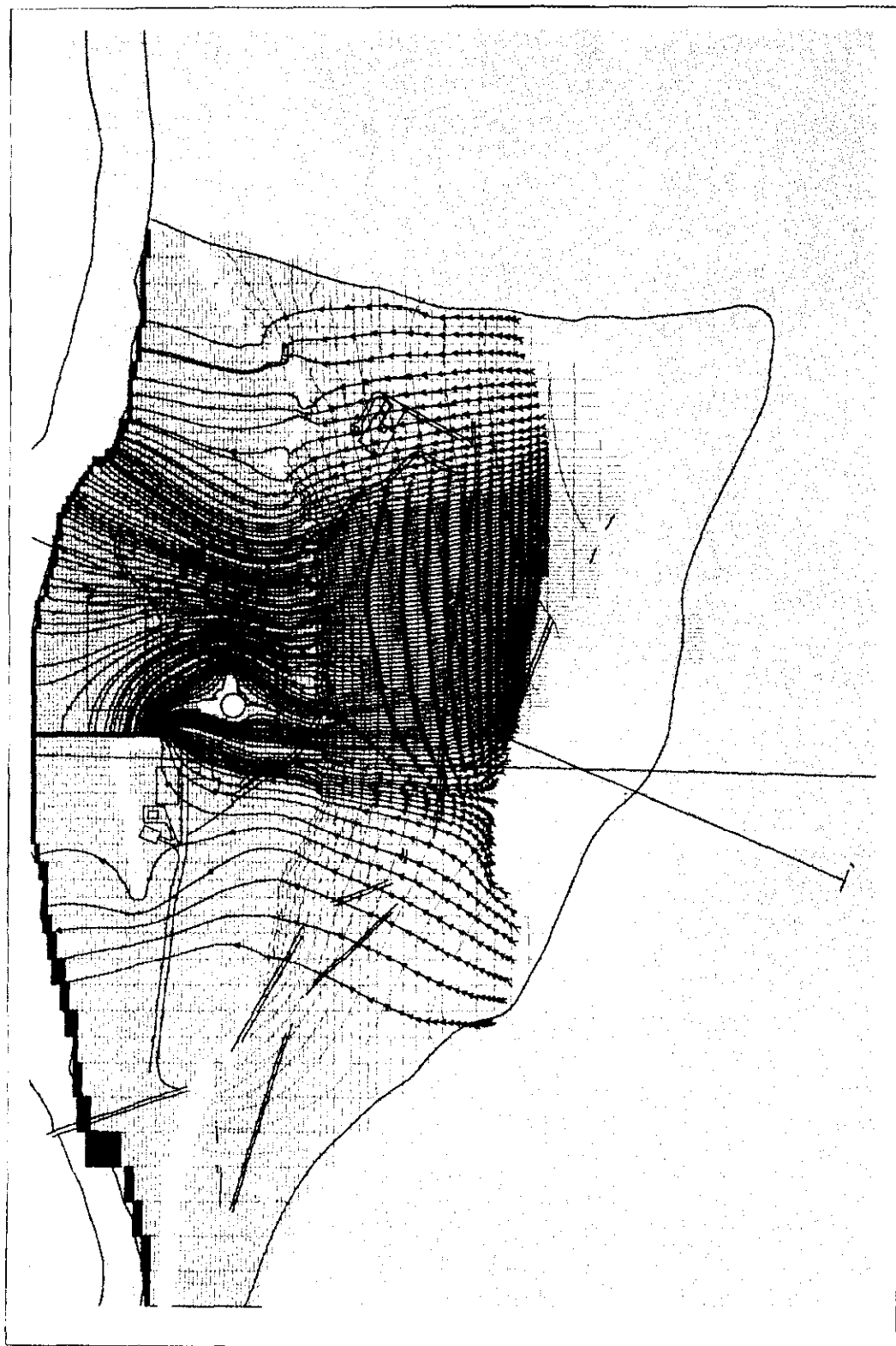


Figura 13.11.2-2. Isopiezas y trayectorias de partículas calculadas por el modelo con recargas máximas (600 m - 601 m Incr. 0.25 m).

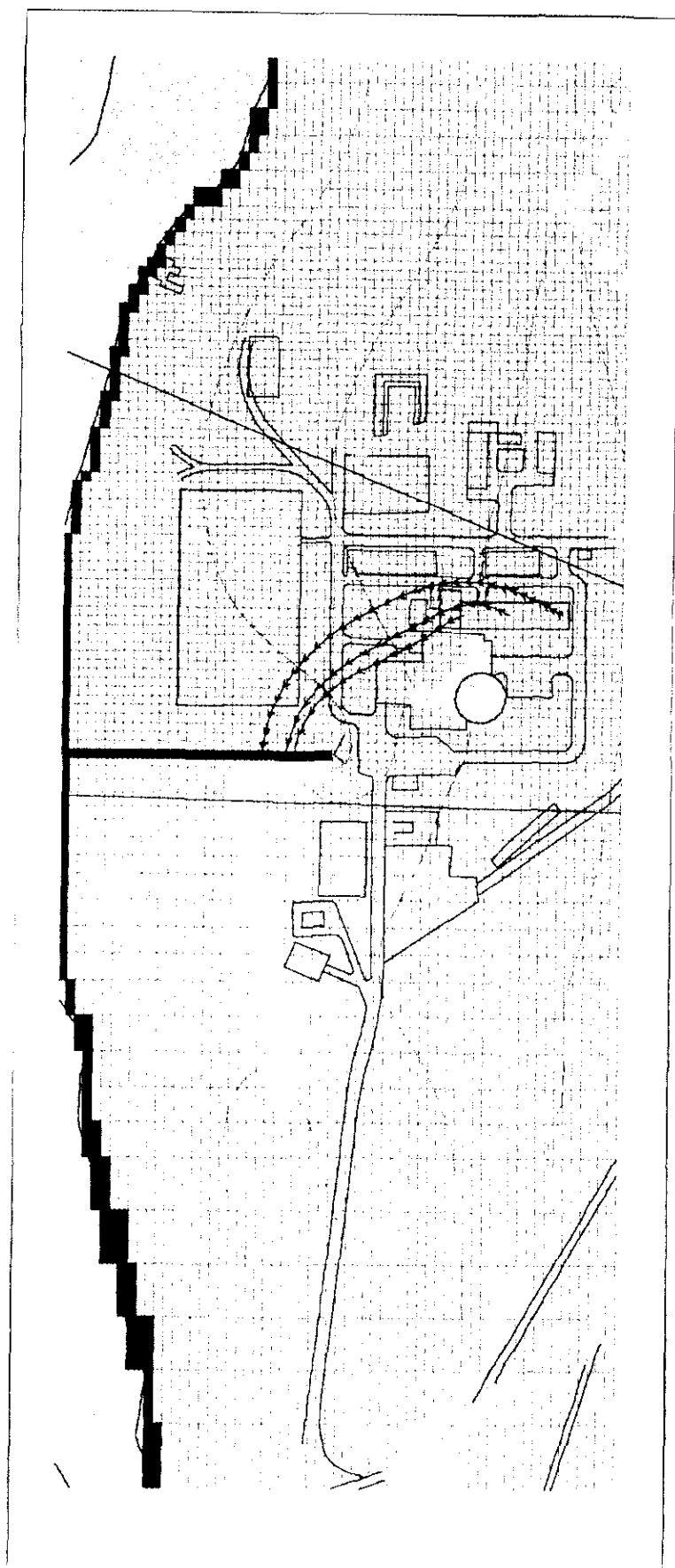


Figura 13.11.2-3. Trayectorias de partículas calculadas por el modelo de recargas máximas. Cortes Este-Oeste y Norte-Sur.

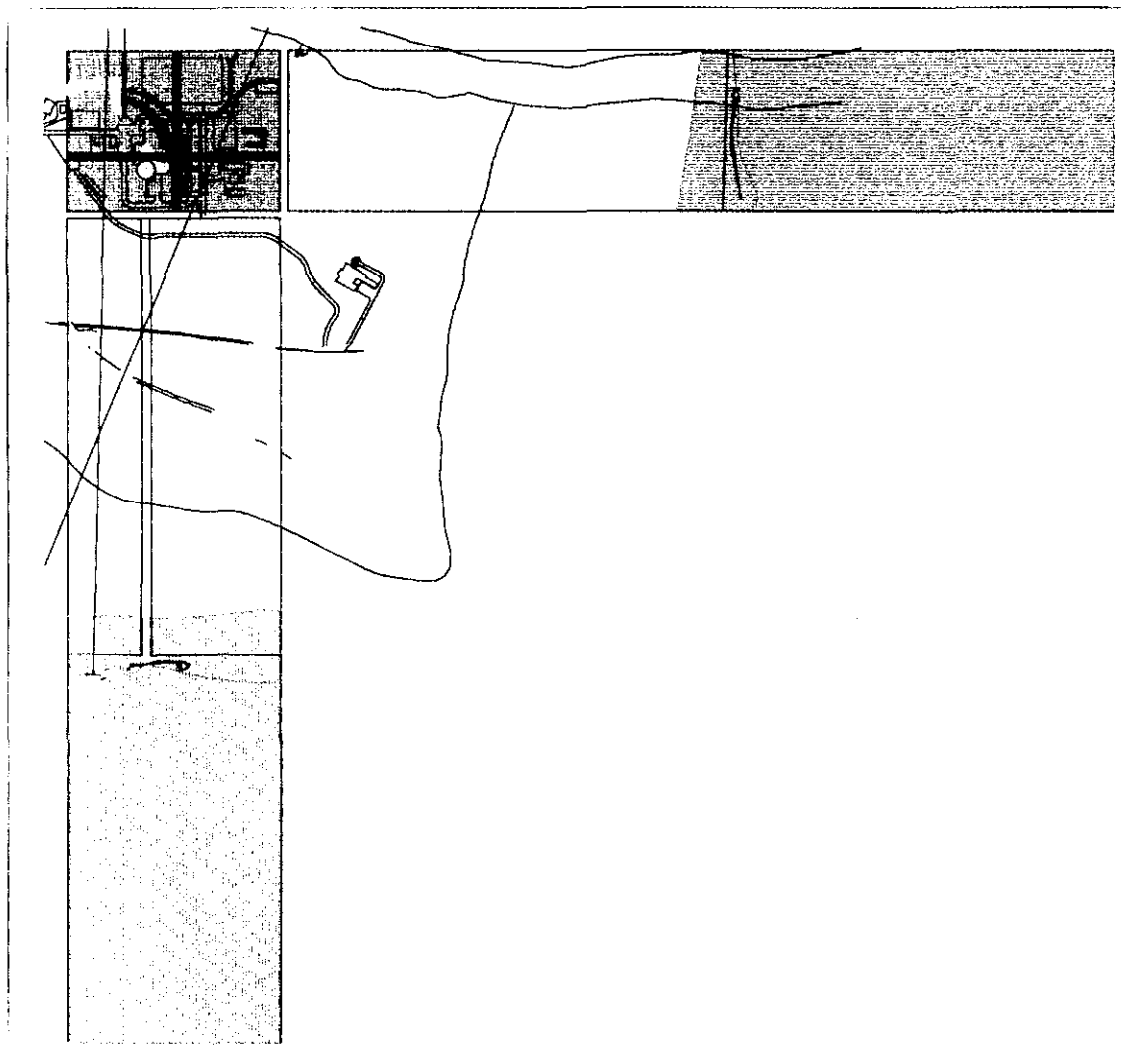


Figura 13.11.2-4. Detalle de trayectorias de partículas calculadas por el modelo con recargas máximas. Norte - Sur.

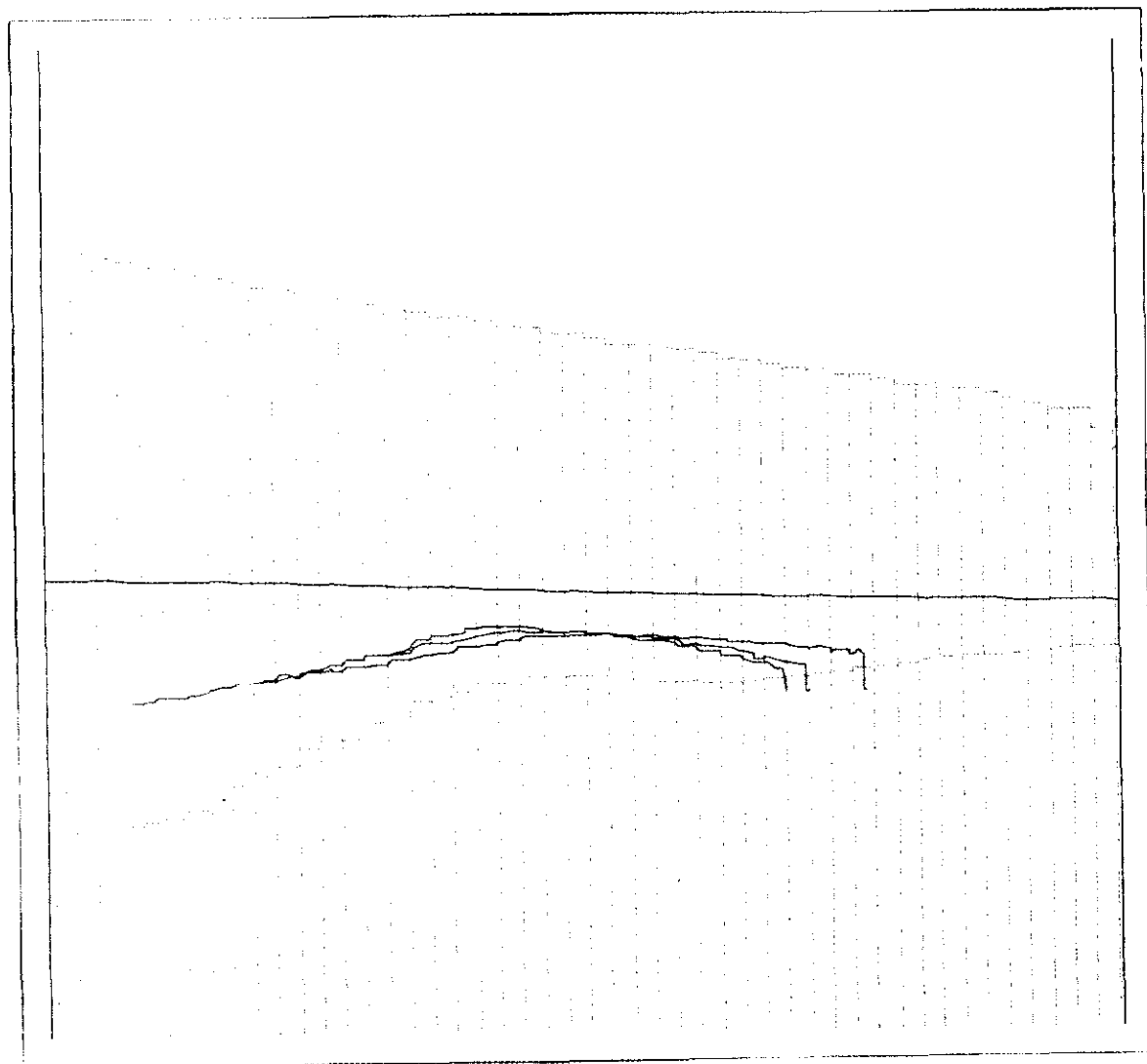
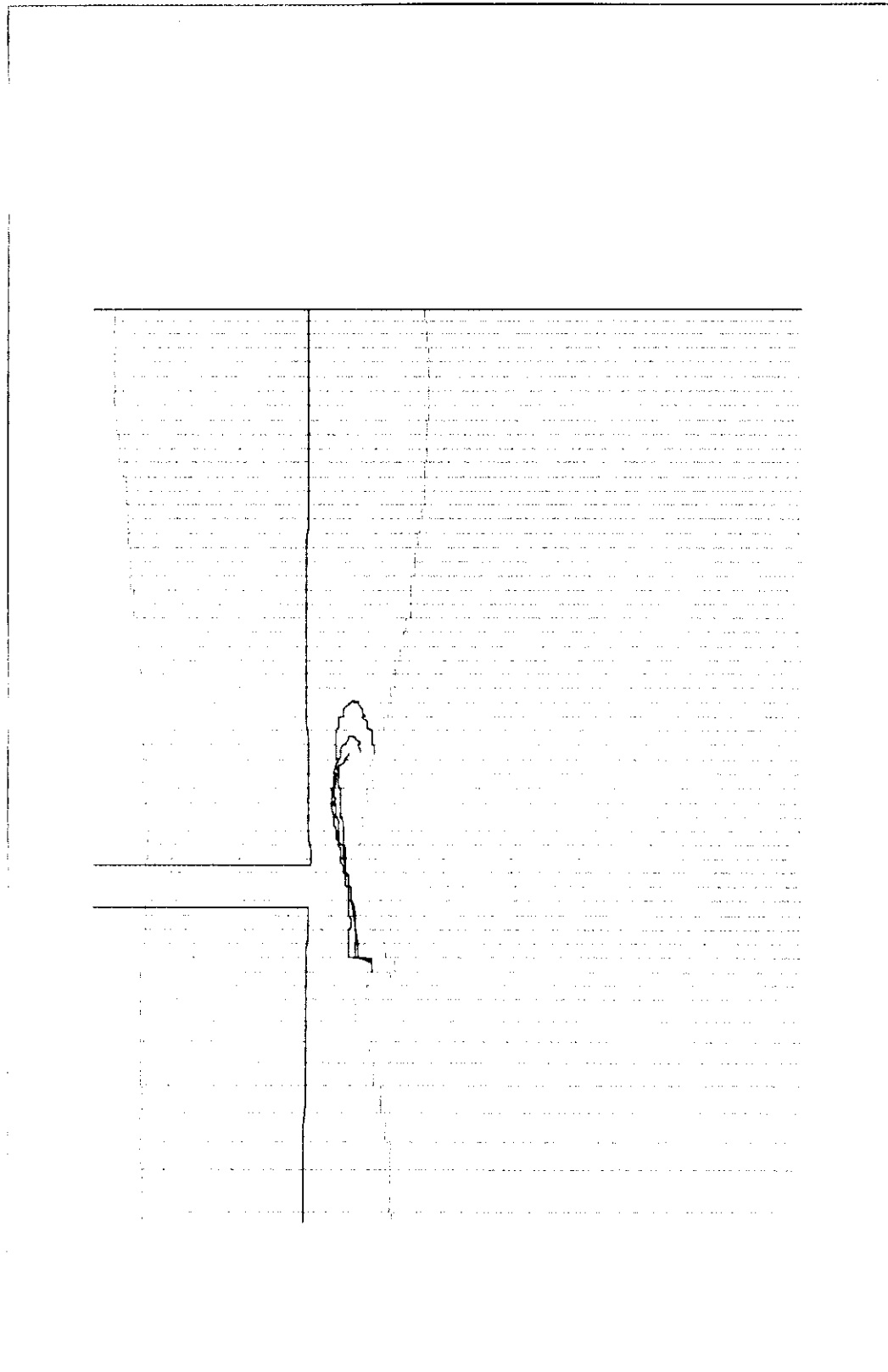


Figura 13.11.2-5. Detalle de trayectorias de partículas calculadas por el modelo con recargas máximas. Corte Este-Oeste.



Terciario, hasta su llegada al canal de descarga, no produciéndose ningún flujo de estas partículas al acuífero interior.

En las figuras 13.11.2-6 y 13.11.2-7, se representa la trayectoria seguida por una partícula, desde su punto de origen, la base del reactor incrustada en el Terciario. En ellas se va claramente como la partícula que parte desde el acuífero inferior, Terciario, tiende a subir al superior, Cuaternario, en su cambio hacia el río.

- Nivel del embalse 597.5 m.

Con las recargas máximas calculadas, se analizó también el transporte convectivo de partículas para una situación de embalse a nivel mínimo. Como se recordará del apartado *Condiciones de Contorno*, el nivel mínimo alcanzado por el embalse se situó en 597.57 m, tomándose en este caso 597.5 m como cota de embalse en la salida del paleocauce aguas debajo de la Central y 597.51 aguas arriba.

Como se puede observar en la figura 13.11.2-8 aparecen zonas secas en la parte más elevada de la superficie de contacto situada en la zona de edificaciones de la Central hacia el río. Al alcanzar el embalse un nivel tan bajo, el flujo de agua desde la terraza hacia el río se reduce a las salidas definidas para el paleocauce aguas arriba y aguas debajo de la Central, así como desde el canal de descarga.

Asimismo se observa en el límite Sur de la terraza, interfase entre Cuaternario y Terciario alterado, como aparece una zona seca, por lo que puede considerarse que el acuífero superior en terraza puede ser colgado.

En la figura 13.11.2-8 se representan las trayectorias convectivas de partículas desde el Almacén nº 1. En ella se observa como hay un flujo de las partículas hacia el río por el paleocauce, produciéndose la salida de las partículas del embalse a través de la conexión de dicho paleocauce con el río situada aguas arriba de la Central. El tiempo medio aproximado de llegada de las partículas al embalse obtenido en este cálculo es de 1500 días (cada marca 100 días).

La figura 13.11.2-9 representa el transporte convectivo de partículas desde puntos aleatorios al Sur del reactor, y en ella se aprecia como la trayectoria de las partículas, siempre por el paleocauce, es hacia el embalse produciéndose su salida hacia el mismo a través del paleocauce aguas debajo de la Central y por el canal de descarga. En este caso, el tiempo de llegada es del orden de 2000 días (cada marca representa 100 días).



Figura 13.11.2-6. Trayectoria de partículas en el acuífero inferior (Terciario).

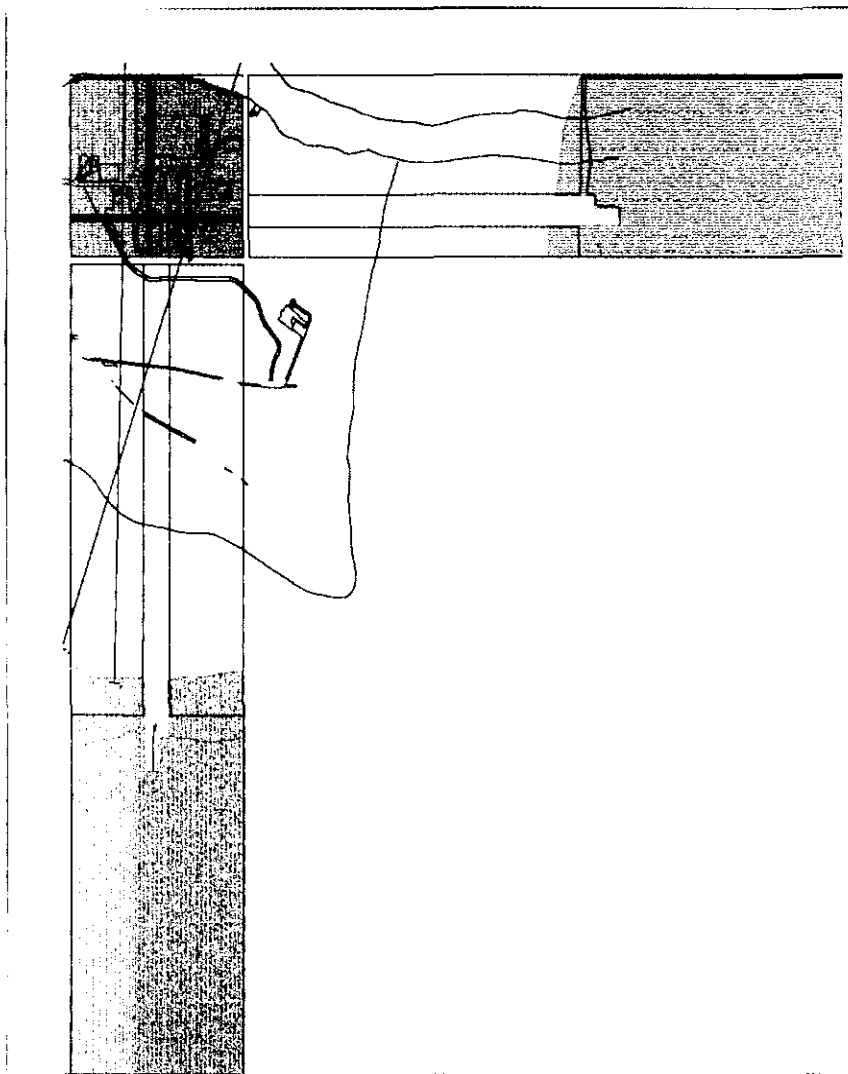


Figura 13.11.2-7. Trayectoria de partículas en el acuífero inferior. Detalle corte Norte-Sur.

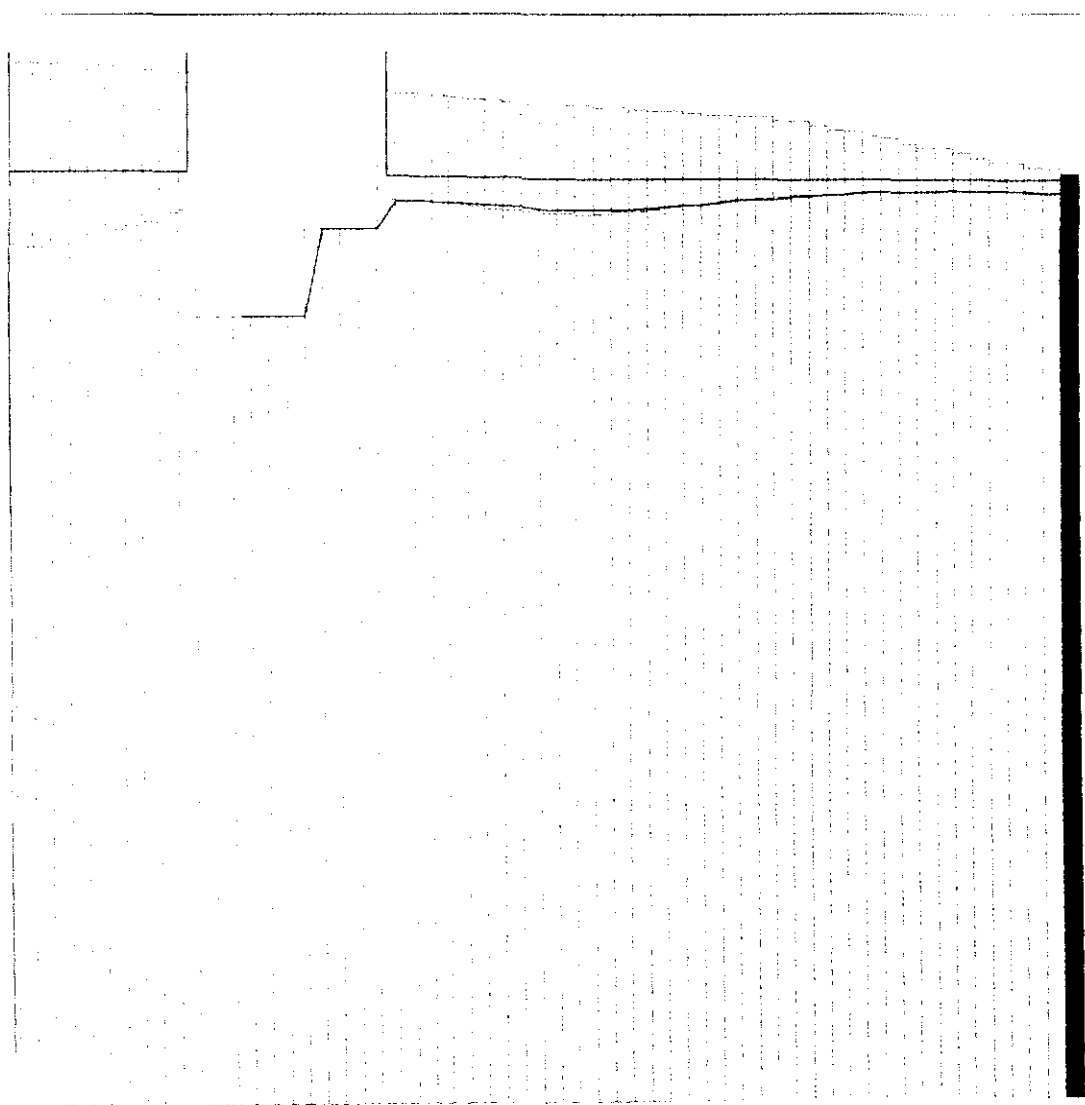


Figura 13.11.2-8. Trayectorias de partículas calculadas por el modelo con recargas máximas y nivel mínimo del embalse.

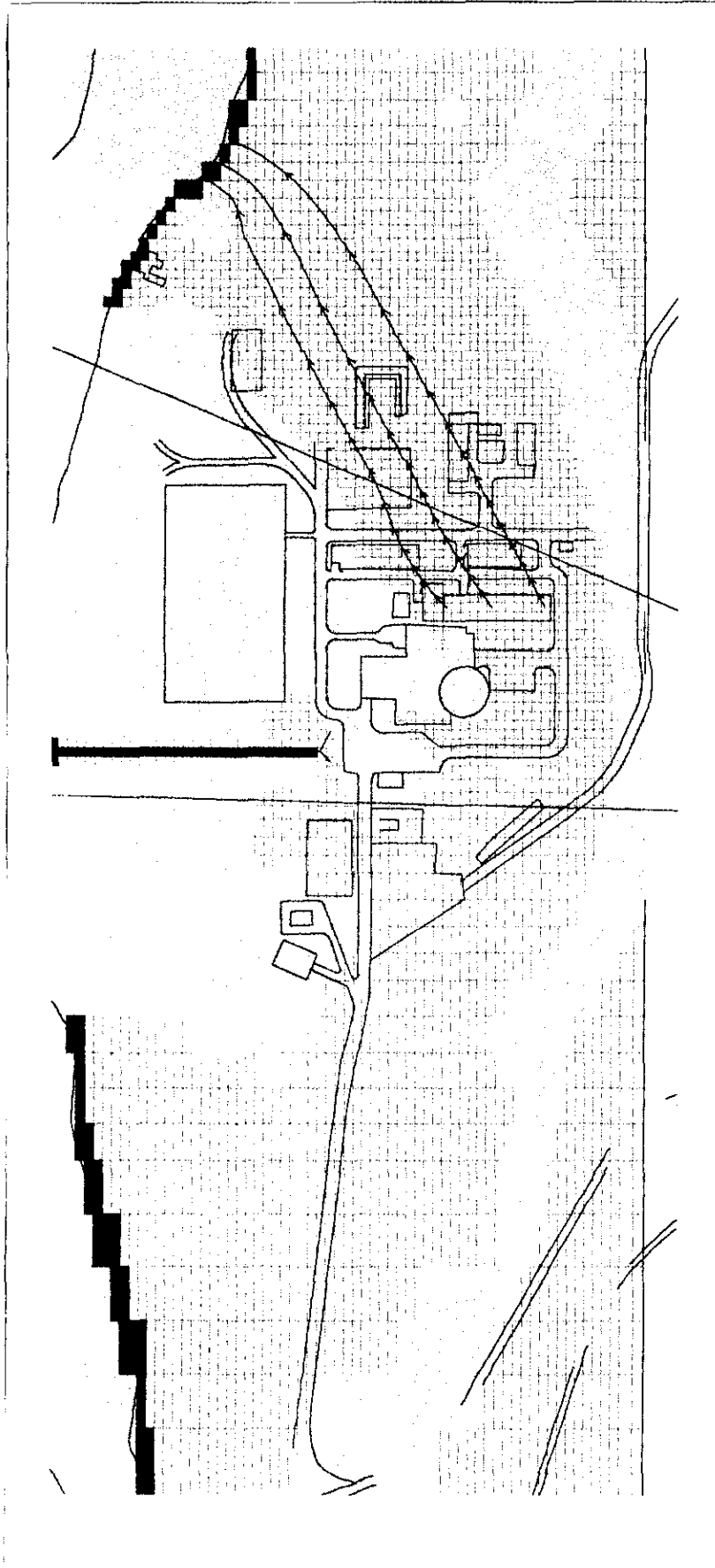
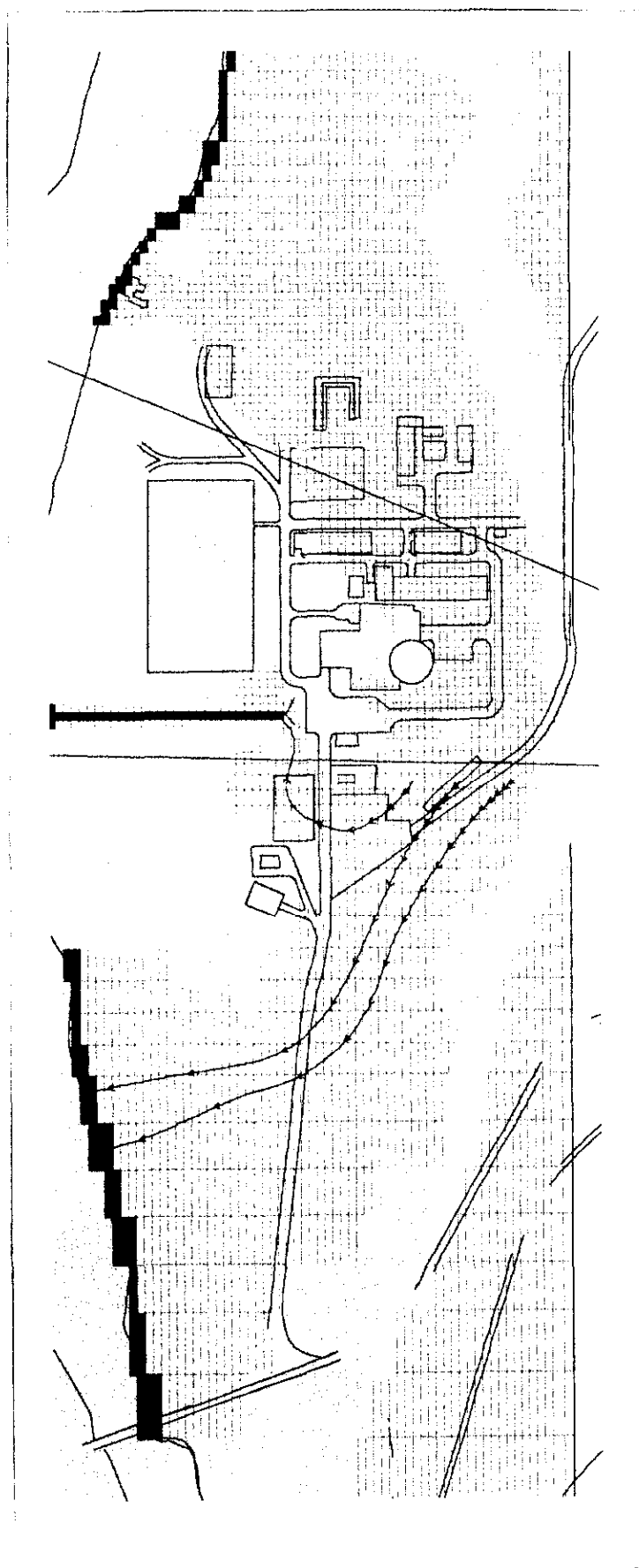


Figura 13.11.2-9. Trayectorias de partículas calculadas por el modelo con recargas máximas y nivel mínimo del embalse.



De estas dos figuras se deduce que para esta hipotética situación del acuífero, se produciría un flujo a través del paleocauce, situándose la salida hacia el río tantas aguas abajo como aguas arriba de la Central.

▫ **Recargas nulas.**

Al igual que en el caso anterior se realizaron dos simulaciones con diferentes hipótesis de niveles del embalse, considerándose en este caso una temporada seca en la que no se realice ningún aporte de agua al acuífero por precipitaciones. Al igual que en el caso anterior, estas simulaciones se realizaron en régimen estacionario.

- Nivel del embalse 600 m.

La zona de Terciario alternado se encontraría totalmente seca en esta situación (figura 13.11.2-10).

El flujo de agua hacia el río sería prácticamente nulo, teniendo la terraza un nivel piezométrico homogéneo de 600 m (cota del embalse). Así, la trayectoria de las partículas desde el Almacén nº 1 (figura 13.11.2-10) sería hacia el río igual que en los casos anteriores, pero con velocidades prácticamente nulas. En la figura se representa trayectoria de las partículas para un periodo de aproximadamente 600 años (marcas cada 50 años), momento en que como se aprecia en la figura por la cercanía de las marcas, las partículas se encontrarían prácticamente paradas.

- Nivel del embalse 597.5 m.

El nivel del embalse en las salidas del paleocauce al río, único camino por el que se puede producir la salida, se sitúa a 597.5 m aguas debajo de la Central y 597.51 m aguas arriba (niveles artificiales impuestos).

Se produce un flujo del paleocauce con entrada al mismo aguas arriba de la Central y salida aguas abajo (figura 13.11.2-11). Las trayectorias de las partículas se representan para tiempos de 2600 años aproximadamente (marcas cada 50 años).

▫ **Recargas cinco veces la máxima.**

Se realizaron simulaciones, considerándose en este caso una temporada de lluvias por encima de las máximas absolutas,

Figura 13.11.2-10. Trayectorias de partículas calculadas pro el modelo sin recargas y nivel máximo del embalse.

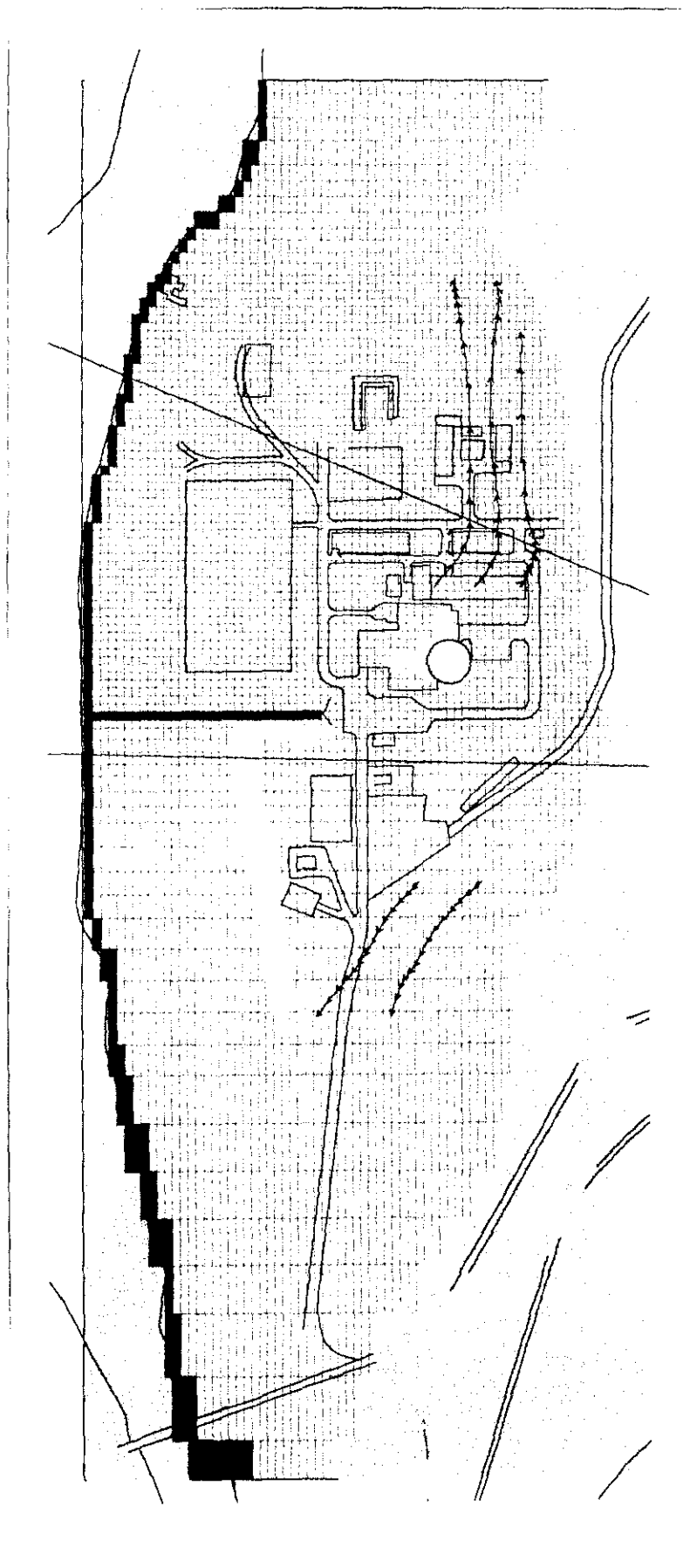
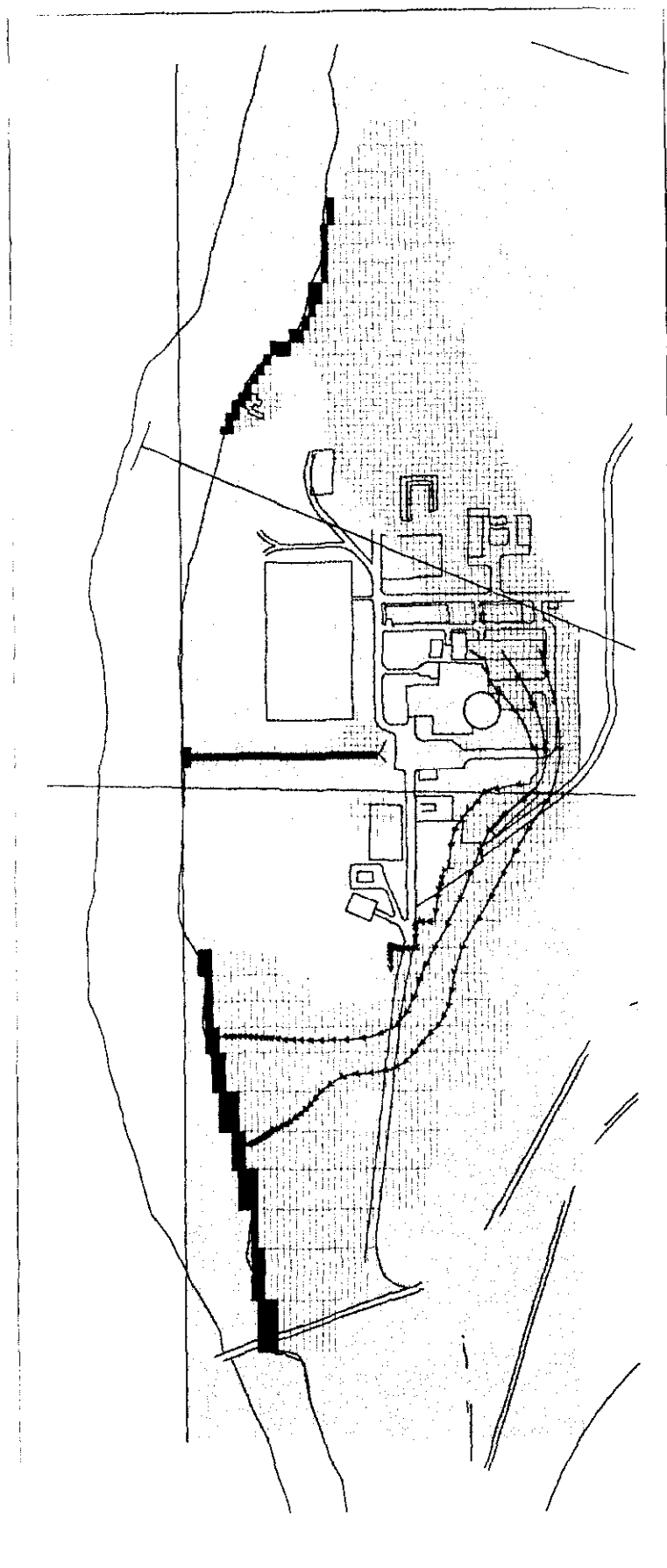


Figura 13.11.2-11. Trayectorias de partículas calculadas por el modelo sin recargas y nivel mínimo del embalse.



tomándose cinco veces el valor calculado para éstas en la serie histórica:

- Precipitaciones: 2245.8 mm/año
- Evapotranspiración real: 682.94 mm/año
- Infiltración: 1562.06 mm/año

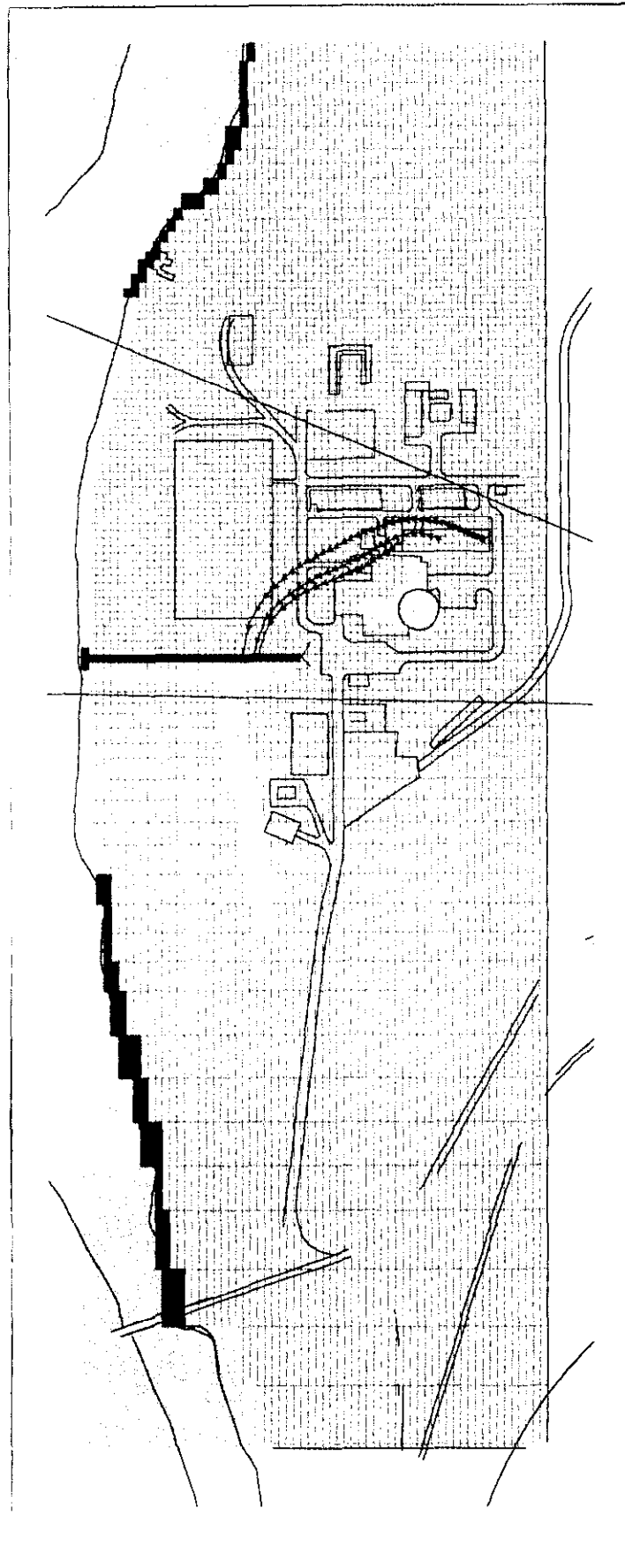
estas simulaciones se realizaron en régimen estacionario.

- Nivel del embalse 597.5 m.

En este caso los niveles piezométricos son muy altos, resultado los acuíferos saturados incluso con el embalse a nivel mínimo. Las velocidades de las partículas en su transporte convectivo son mucho mayores que en los demás casos (figura 13.11.2-12) resultado tiempos de llegada aproximados de 30 días al canal de descarga (marcas cada día).



Figura 13.11.2-12. Trayectorias de partículas calculadas por el modelo con recargas 5 veces las máximas y nivel mínimo del embalse.



### 13.12. MODELO DE TRANSPORTE.

Como ejemplo de transporte convectivo difusivo, se realizó una simulación del transporte del U-238.

Esta simulación tiene como objetivo estudiar el efecto de la difusión sobre el transporte de contaminantes en el entorno de la Central.

Las características de esta simulación son:

- Tiempo de simulación 1765 días.
- Dispersión, por capa:
  - . Dispersión longitudinal: 10 m.
  - . Dispersión transversal: 1 m.
- Decaimiento  $2.238 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ .
- Concentración inicial 100 ppm en el Almacén nº 1.
- Número de Courant 0.75.
- Las velocidades del transporte convectivo fueron las calculadas para el estacionario del modelo de flujo con recargas máximas y altura del embalse (figura 13.12-1).

Los resultados de esta simulación se representan para diferentes instantes de tiempo en las Figuras:

- Figura 13.12-2; pluma de concentración 1 día después.
- Figura 13.12-3; pluma de concentración a los 5 días.
- Figura 13.12-4; pluma de concentración a los 10 días.
- Figura 13.12-5; pluma de concentración a los 15 días.
- Figura 13.12-6; pluma de concentración a los 20 días.
- Figura 13.12-7; pluma de concentración a los 25 días.
- Figura 13.12-8; pluma de concentración a los 50 días.

Figura 13.12-1. Campo de velocidades para estacionario con recargas máximas y nivel del embalse 600 m.



Figura 13.12-2. Concentración tras 1 día (ppm).

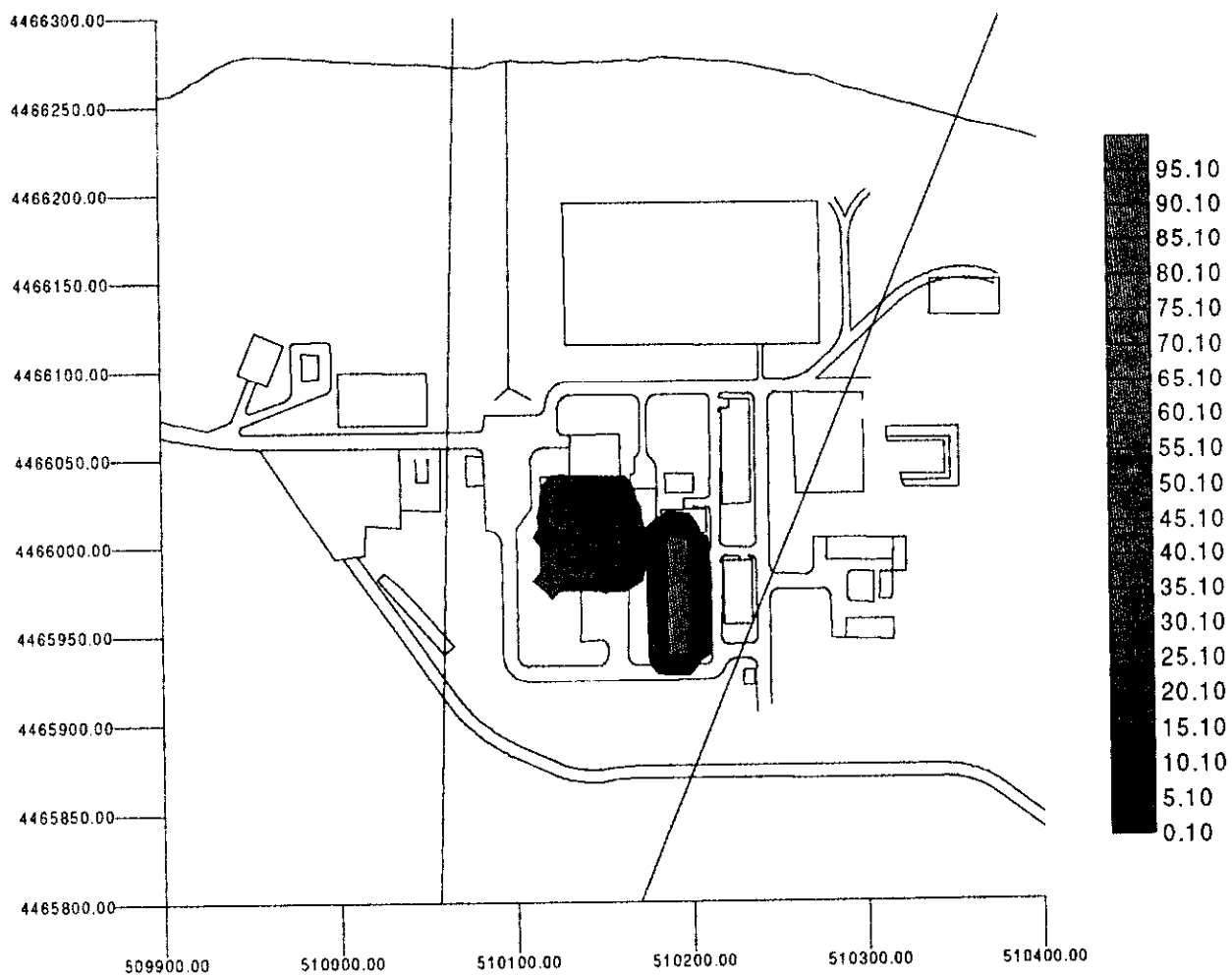


Figura 13.12-3. Concentración tras 5 días (ppm).

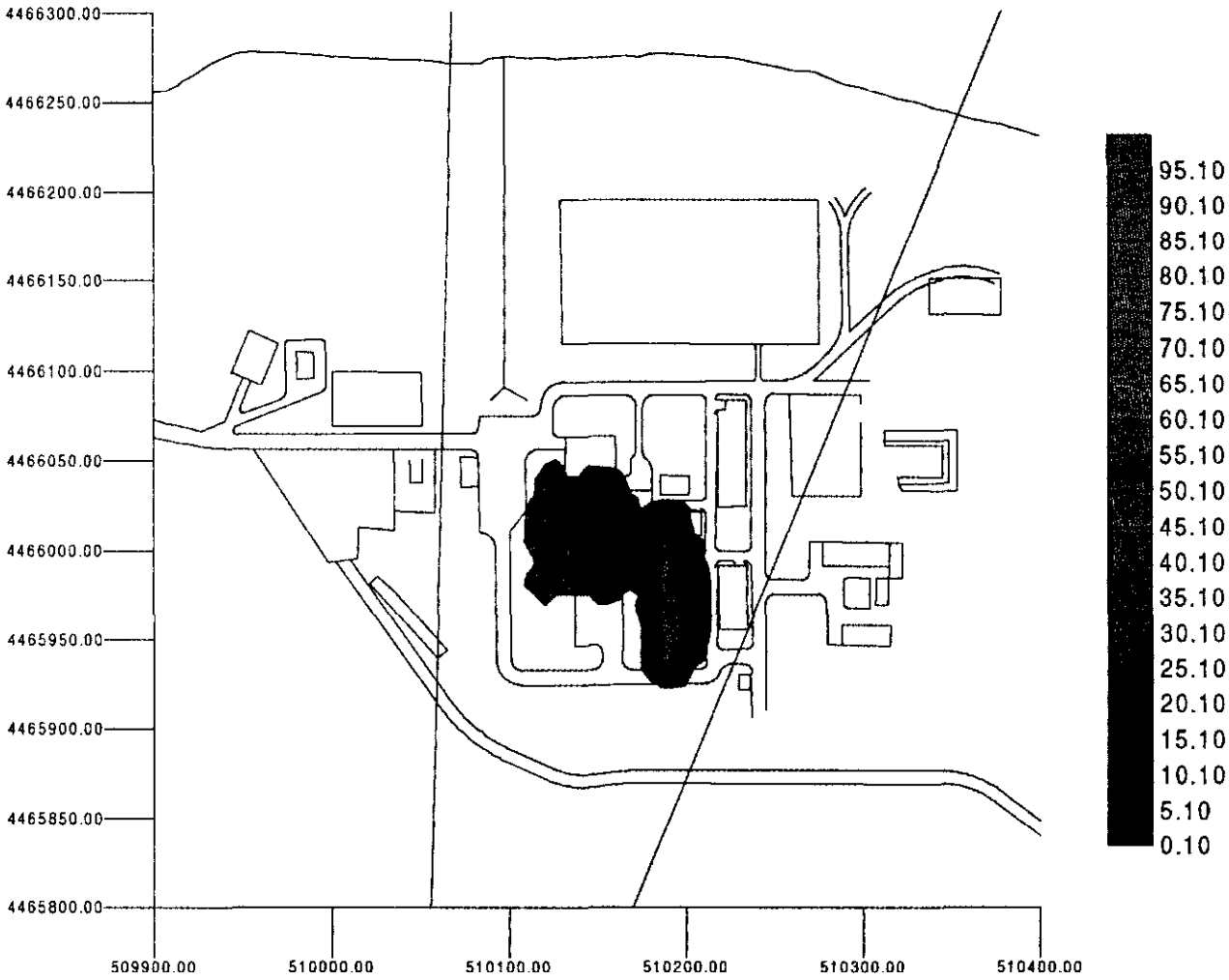


Figura 13.12-4. Concentración tras 10 días (ppm).

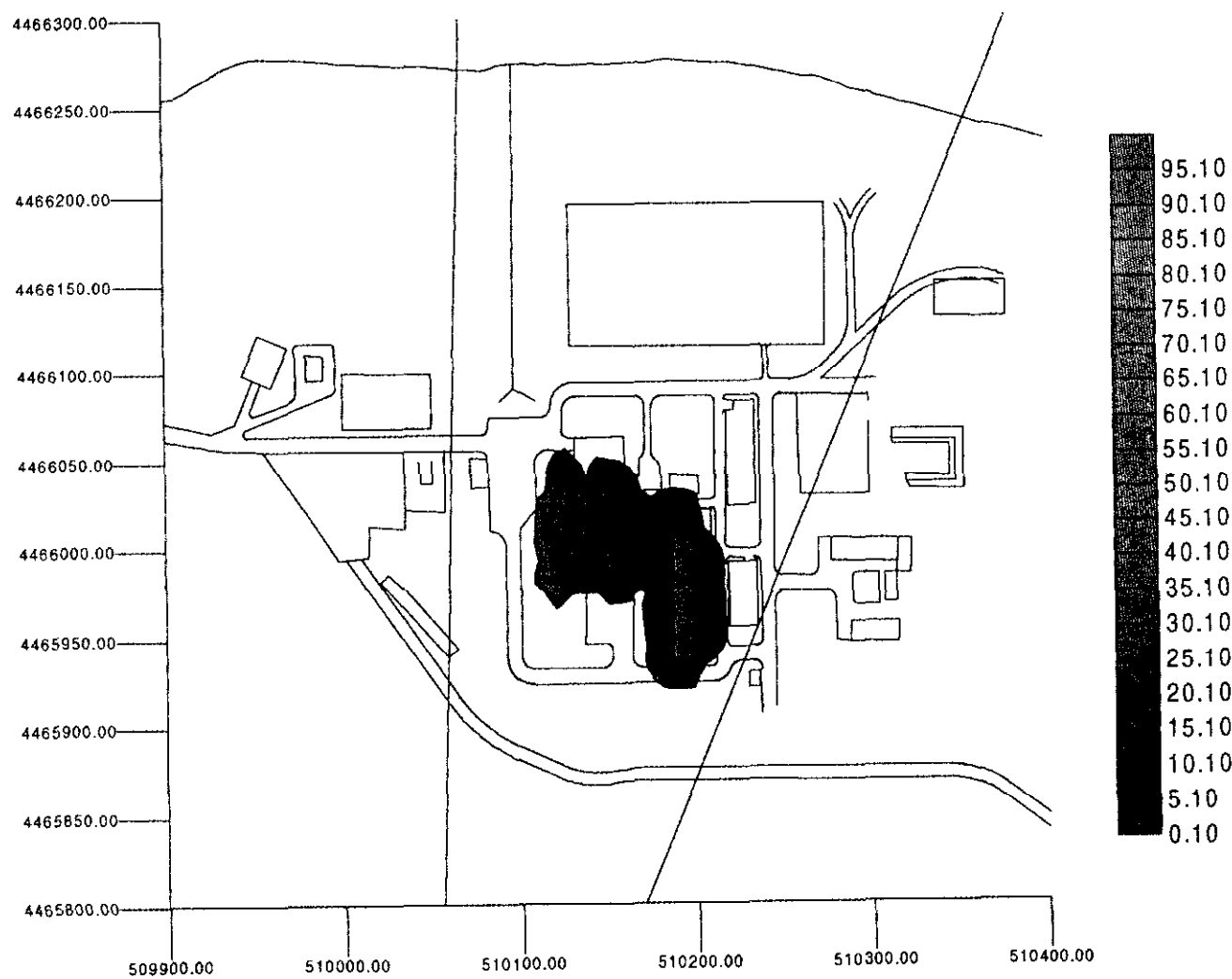


Figura 13.12-5. Concentración tras 15 días (ppm).

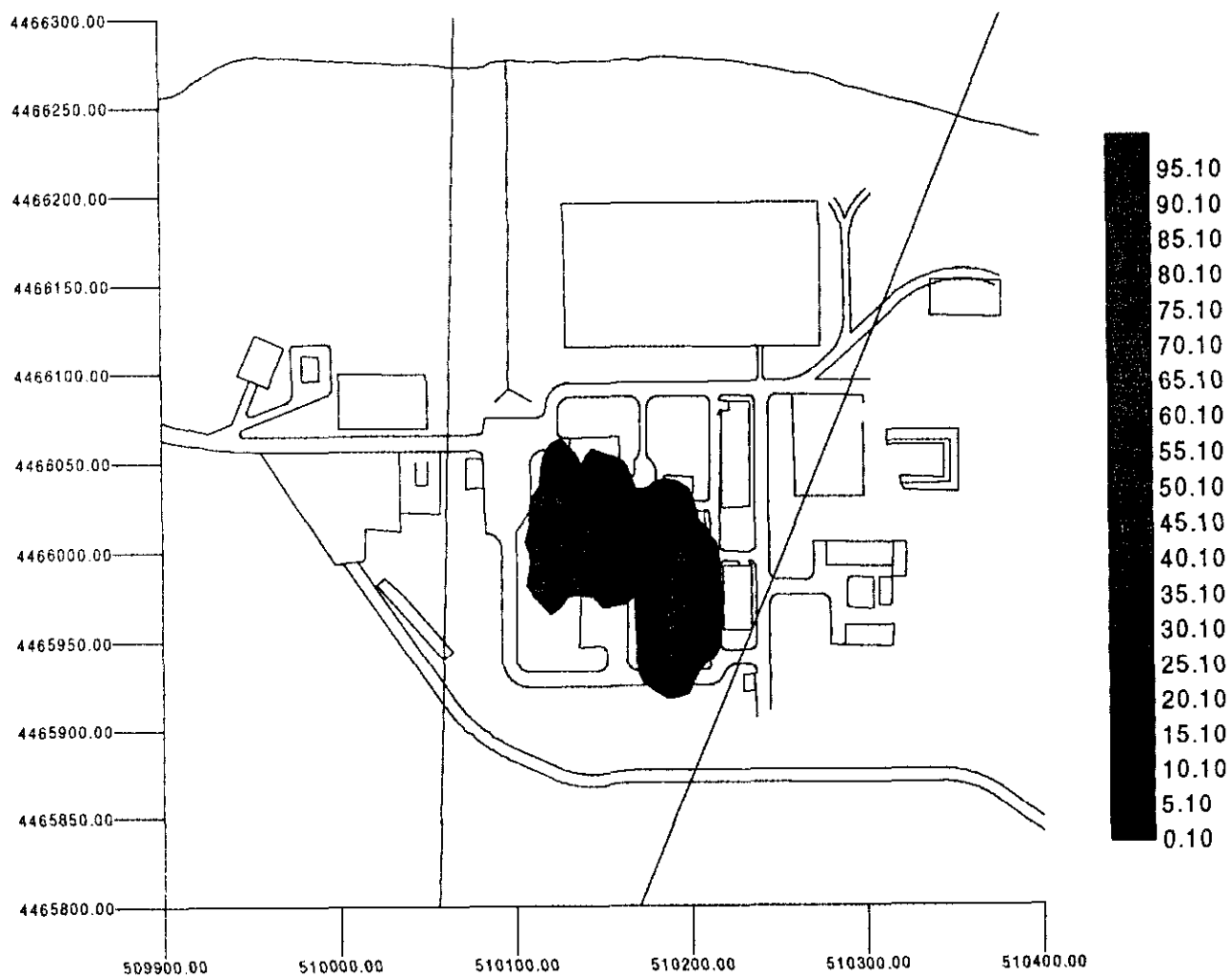


Figura 13.12-6. Concentración tras 20 días (ppm).

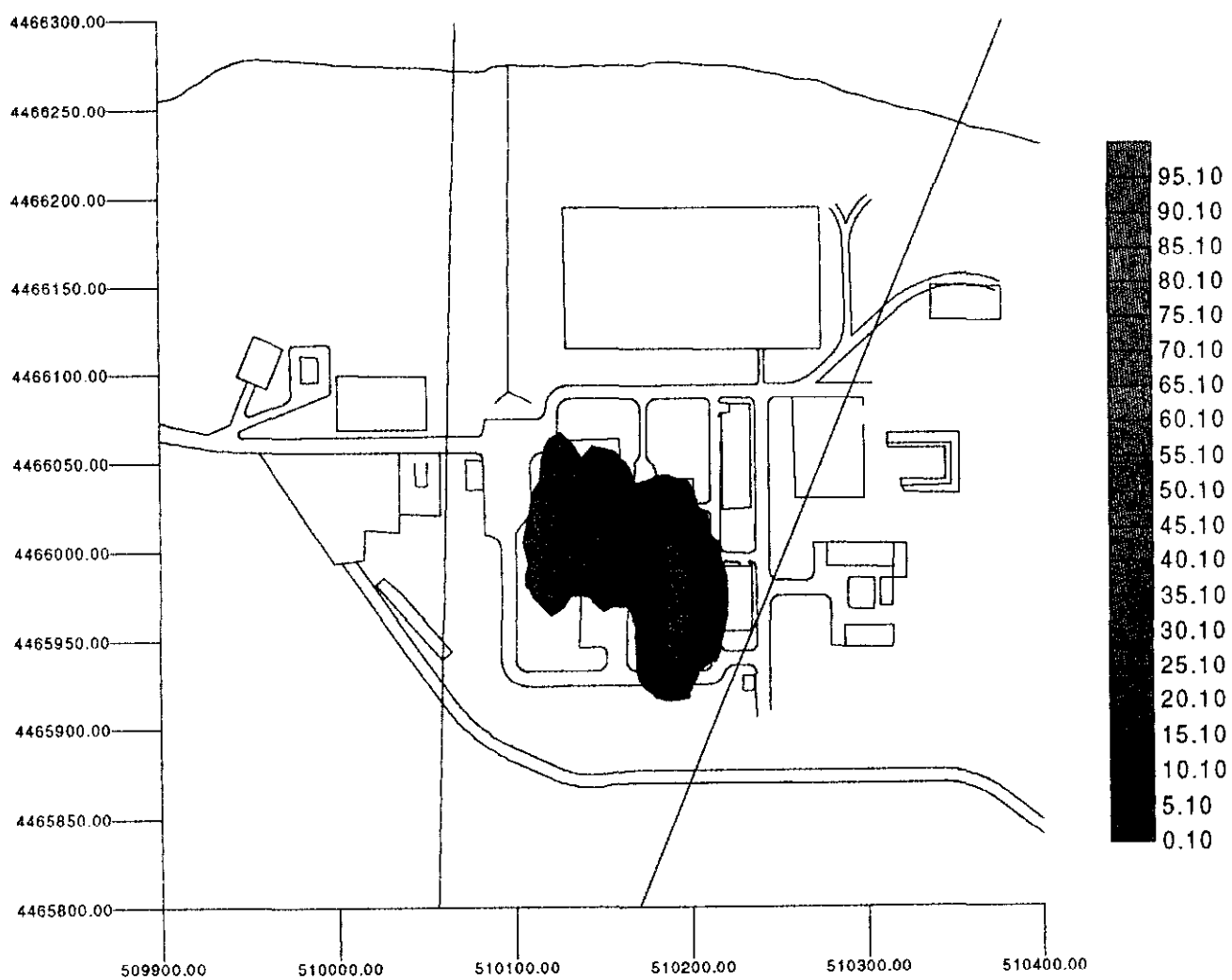




Figura 13.12-7. Concentración tras 25 días (ppm).

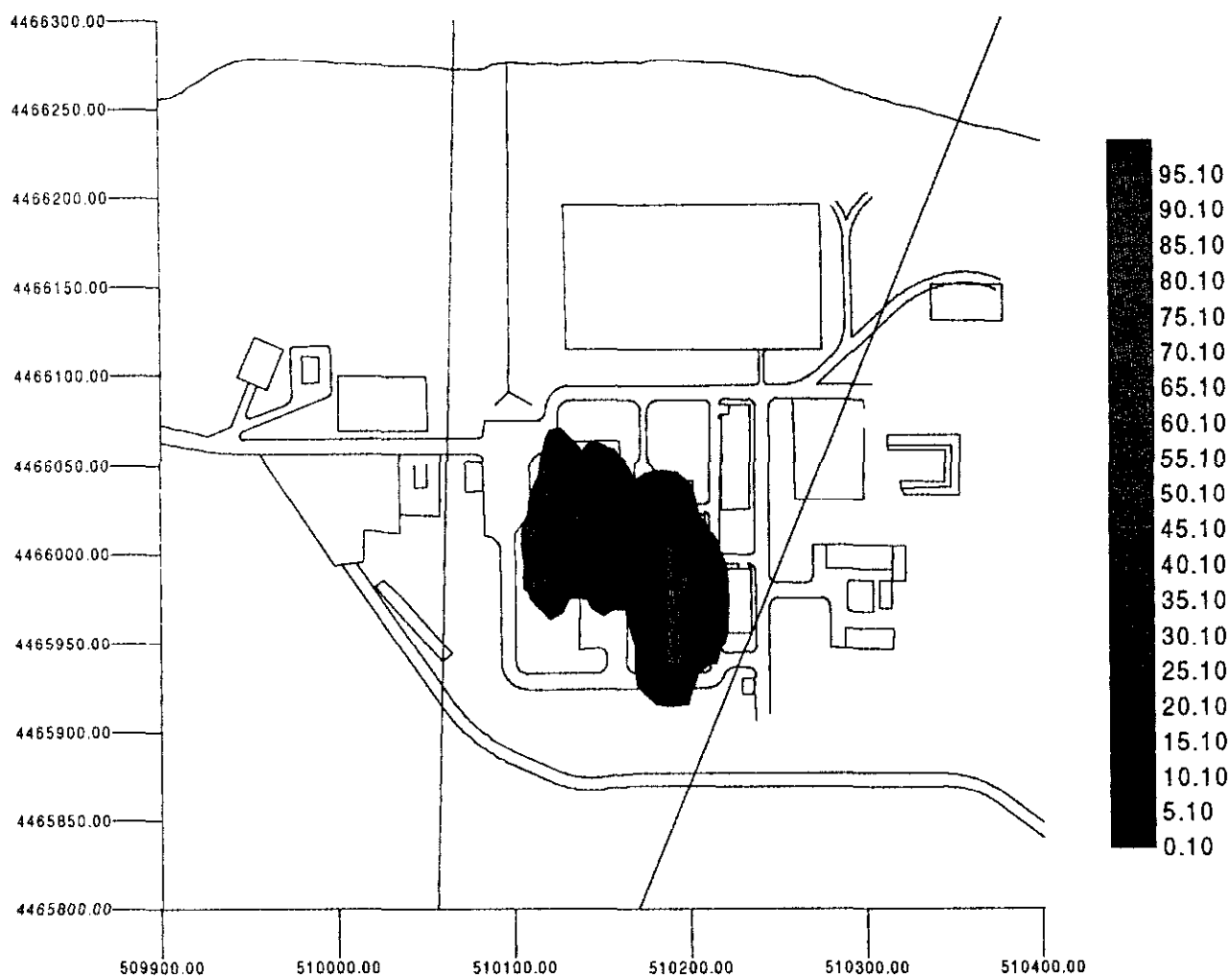


Figura 13.12-8. Concentración tras 50 días (ppm).



- Figura 13.12-9; pluma de concentración a los 100 días.
- Figura 13.12-10; pluma de concentración a los 500 días.
- Figura 13.12-11; pluma de concentración a los 1000 días.
- Figura 13.12-12; pluma de concentración a los 1765 días.

En las figuras 13.12-2 y 13.12-3 se observa un avance instantáneo de la pluma en la zona alrededor del reactor, con concentraciones relativamente altas debido exclusivamente a un problema computacional generado por el artificio de continuar el Cuaternario por debajo del reactor pero con espesor nulo. Este efecto es atenuado a lo largo de la simulación, quedando prácticamente amortiguado a partir de los cien días de simulación. Este efecto se debe a la diferente consideración que hacen MT3D y MODFLOW de las celdas correspondientes al reactor, ya el segundo las considera como inactiva al quedarse secas, mientras que el primero no las considera como inactivas, calculando concentraciones en ellas.

El avance de la pluma de contaminación sería en esta simulación realizada hacia el canal de descarga de la Central, produciéndose también avance en dirección hacia la ladera Sur del Almacén por efecto en esta caso de la difusión.

Se aprecia la llegada de concentraciones pequeñas, pero apreciables (0.1 ppm), al canal de descarga en un tiempo indeterminado entre 10 y 500 días.

Por otro lado, la contaminación del acuífero inferior a través del Cuaternario, se puede observar en las figuras 13.12-13 y 14. En la primera de ellas se observa como la concentración tras 5 días desde la salida del contaminante, tiene un orden de magnitud de  $10^{-4}$  ppm. Esta concentración es efecto de la dispersión impuesta. Asimismo en la figura 13.12-14 se representa la concentración tras 1765 días, tiempo total simulado, observándose como la concentración máxima en el acuífero inferior por efecto de la difusión desde el acuífero superior es del orden  $10^{-2}$  ppm, lo cual nos vuelve a confirmar la cuasi independencia en el modelo número del Cuaternario y Terciario.

Los resultados obtenidos en esta simulación no tienen en si mismo entidad suficiente para ser considerados como exactos, solo suponen una aproximación preliminar al problema del transporte colectivo difusivo.

Figura 13.12-9. Concentración tras 100 días (ppm).



Figura 13.12-10. Concentración tras 500 días (ppm).



Figura 13.12-11. Concentración tras 1000 días (ppm).

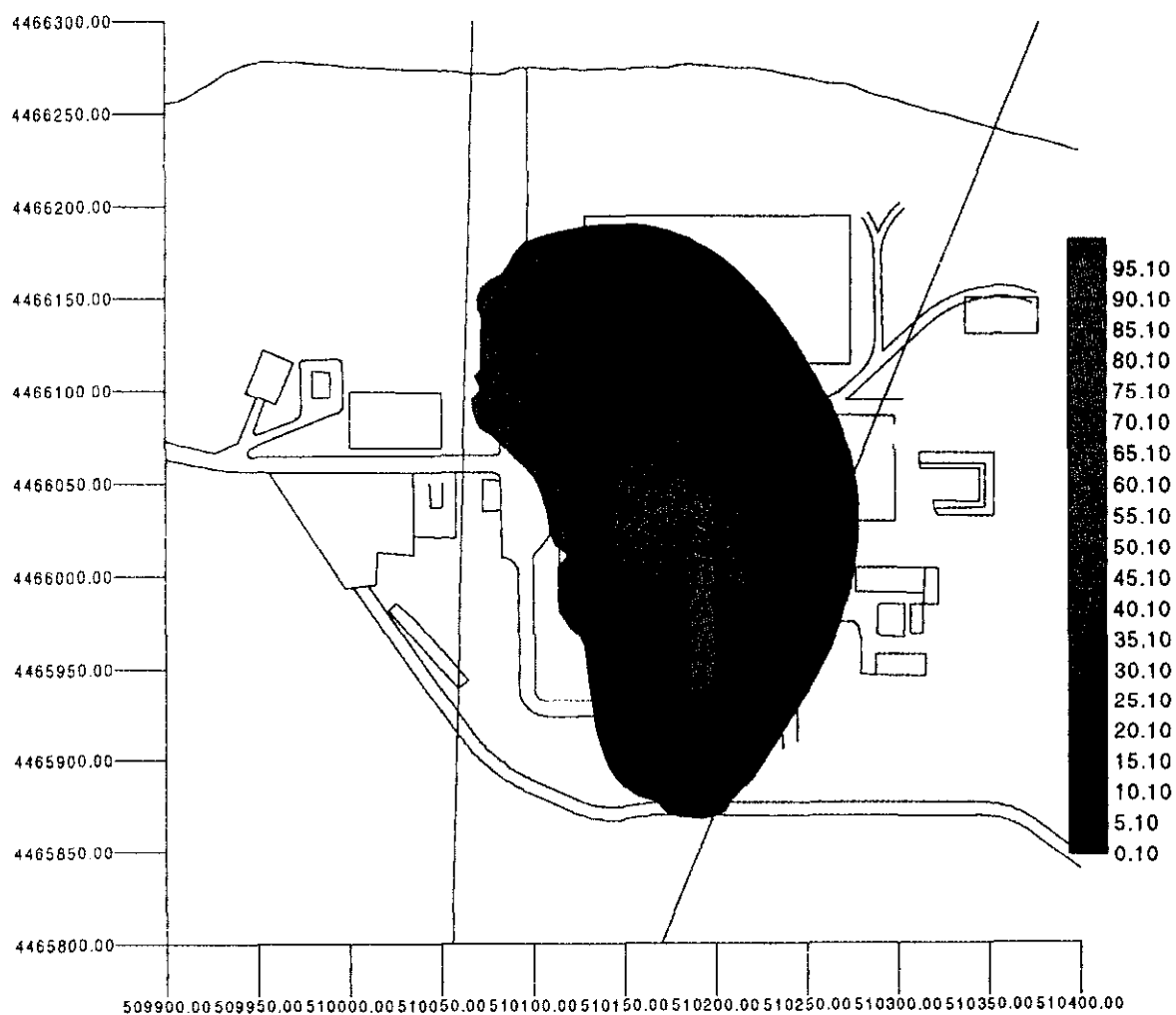


Figura 13.12.12. Concentración tras 1764 días (ppm).

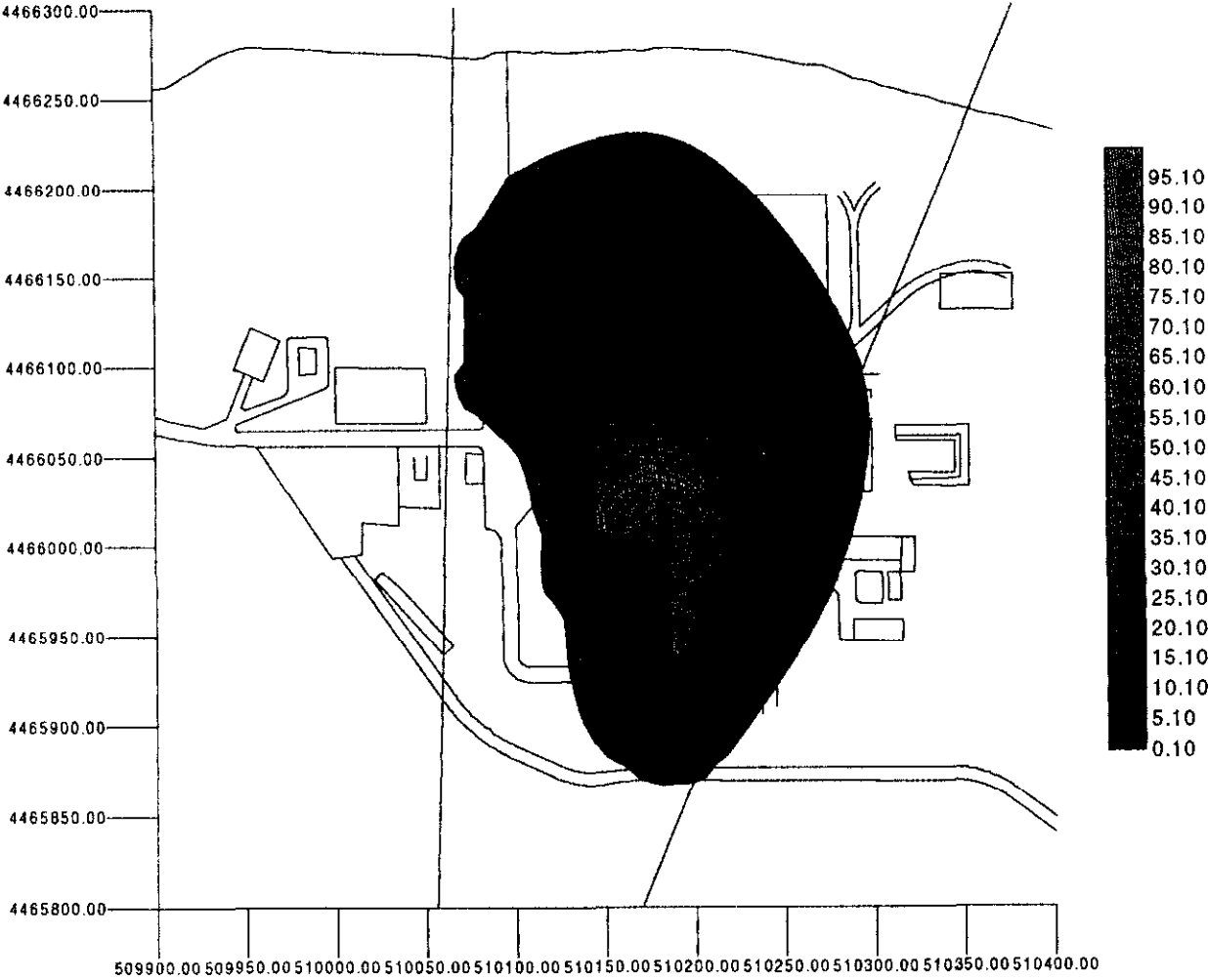


Figura 13.12-13. Concentración en el acuífero inferior después de 5 días (ppm).

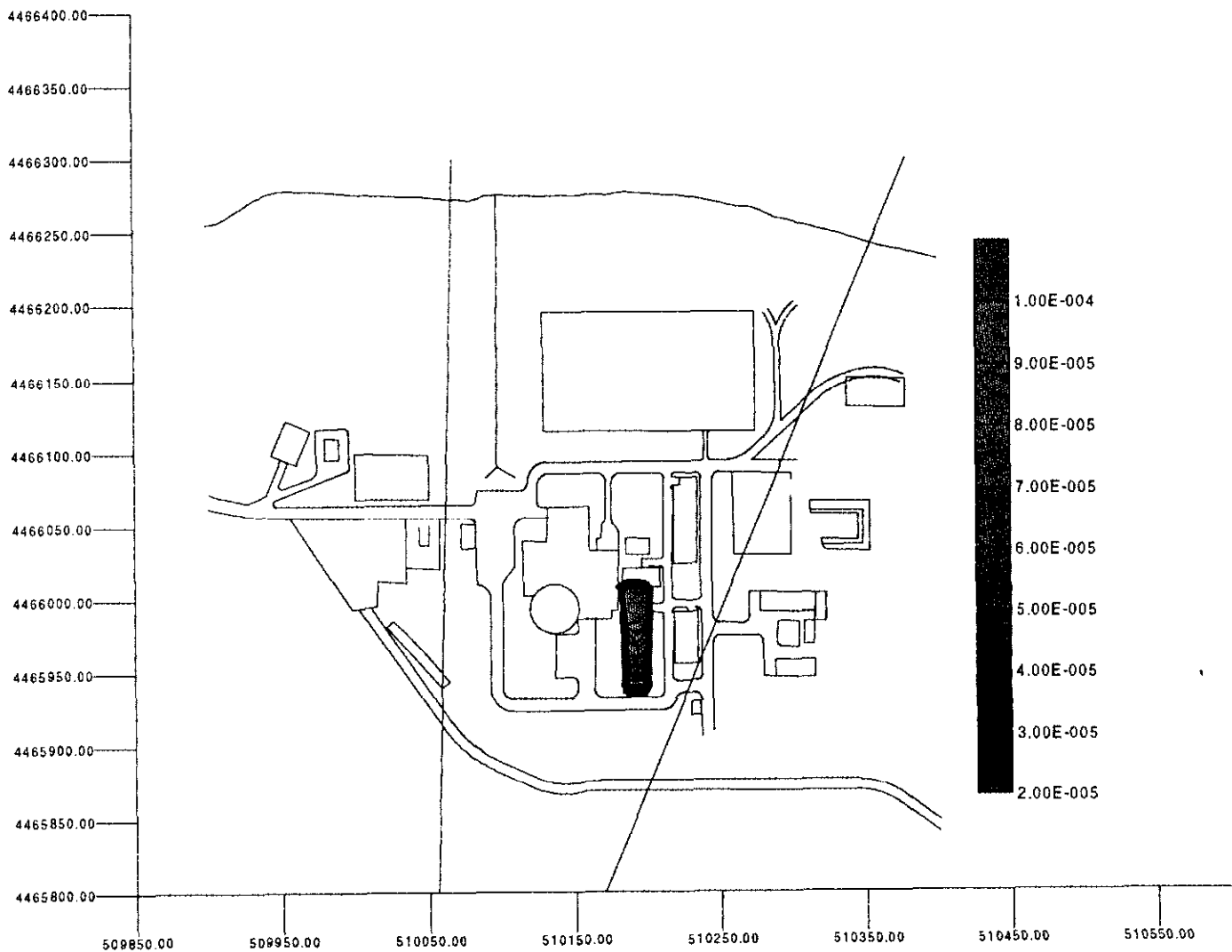
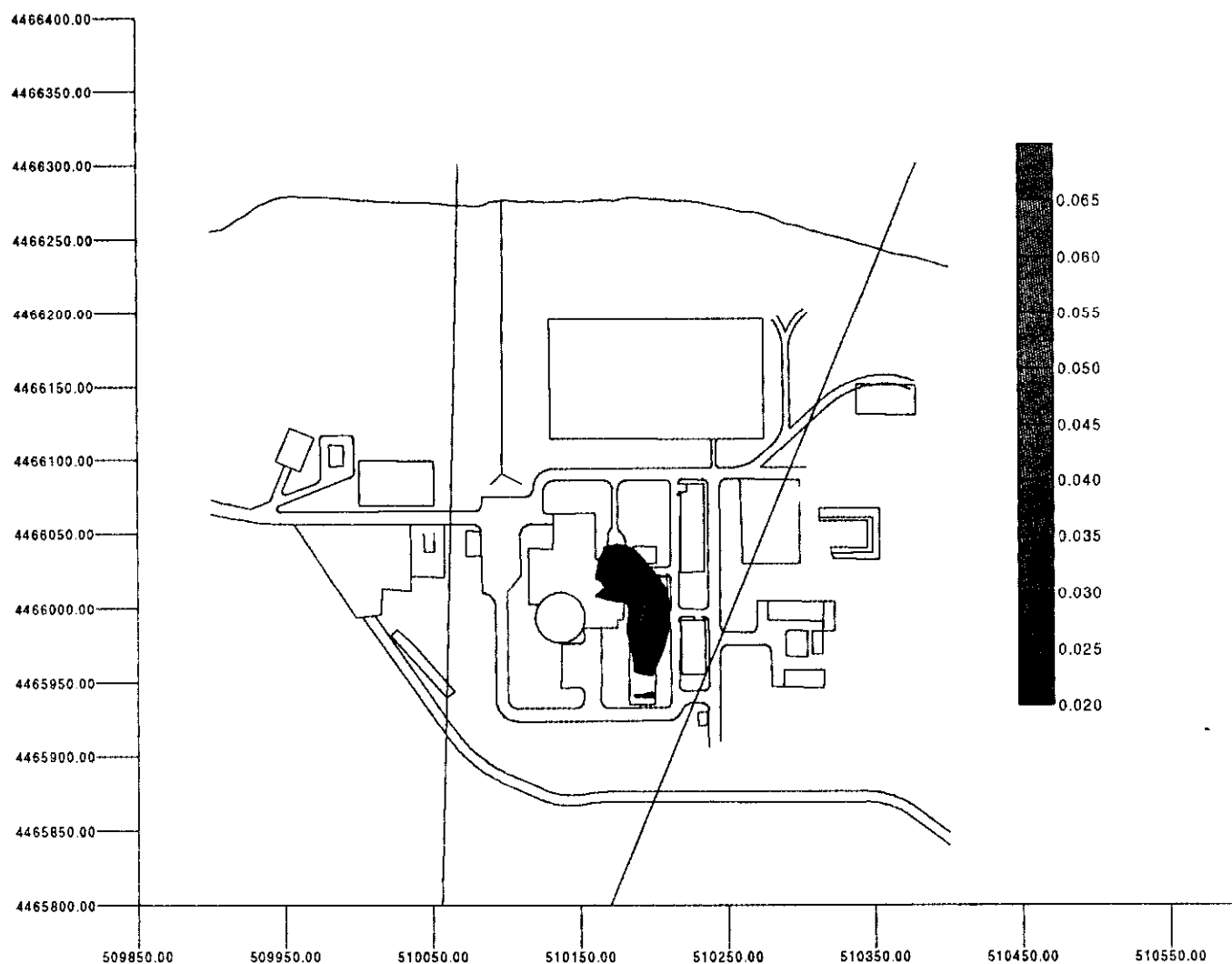




Figura 13.12-14. Concentración en el acuífero inferior después de 1765 días (ppm).



---

## 14 ALGORITMO DEL CODIGO DE CONEXION MODFLOW-GIS

---

### 14.1. INTRODUCCIÓN.

Los modelos matemáticos pueden ser desarrollados por medio de diversos códigos comerciales, de los cuales se ha elegido para el presente estudio MODFLOW para resolver el problema de flujo del agua subterránea y MT3D para el problema de transporte de solutos. Esta elección, ya ha sido discutida en el capítulo II.

Para la definición de cualquier modelo matemático debe comenzarse por fijar una serie de parámetros que constituyen un modelo conceptual (apartado 12) sobre el que se basará dicho modelo matemático (apartado 13). Algunos de estos parámetros serían:

- Delimitación geográfica.
- Condiciones iniciales.
- Condiciones en los límites.
- Definición de recargas.
- Caracterización hidrogeológica de la zona a modelizar.

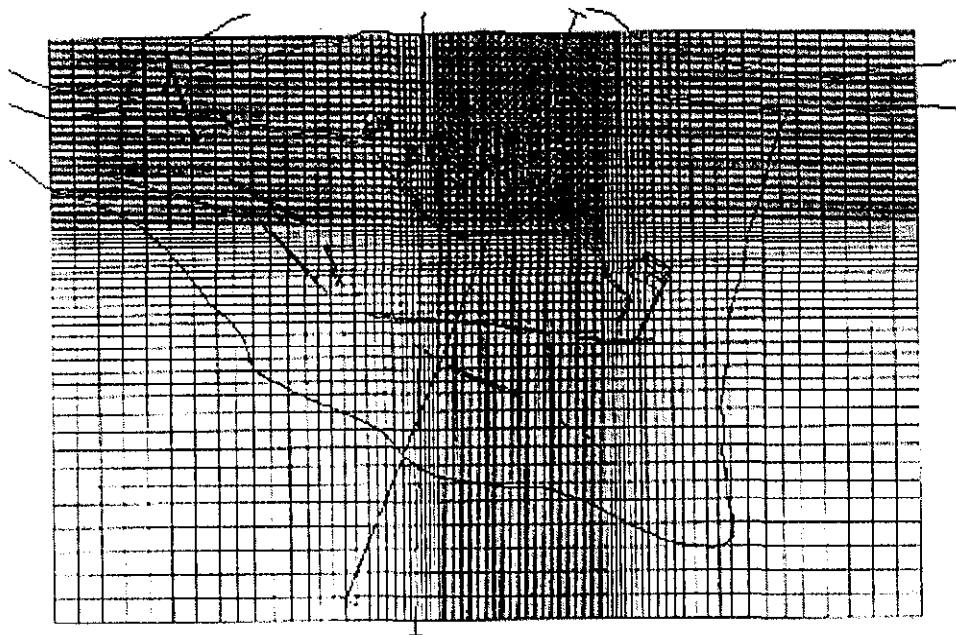
La definición y estudio de todos estos parámetros se ha tratado con la suficiente profundidad en los apartados referenciados.

Una vez definida geográficamente la zona que se va a modelizar, se realiza una discretización espacial, generándose una serie de celdas sobre las que se realiza la modelización (figura 14.1-1). Para cada una de estas celdas es necesario definir sus características hidrogeológicas, espaciales, etc., lo cual si la zona a modelizar es extensa y el tamaño de las celdas no es muy grande, condiciones que concurren en el mallado definido para este modelo de la C.N. José Cabrera, se genera una gran cantidad de celdas, por lo que la entrada de datos para cada una de estas celdas es una tarea costosa en tiempo.

Baste pensar que el modelo definido para la C.N. José Cabrera, y en cual se profundiza posteriormente, tiene unas dimensiones de 110 celdas en dirección X y 95 en dirección Y, con un número de dos capas en dirección Z. Esto hace que se tengan 10500 celdas por capa, es decir 20900 celdas en total del mallado. Si se considera que para cada una de estas celdas es necesario introducir todos los parámetros hidrogeológicos, geométricos, piezométricos, etc, se tiene un número de introducciones manuales de valores del orden 200000 a 500000. Como se

puede deducir de esto, hace que el tiempo necesario para definir el modelo sea enorme.

Para evitar este problema, en la presente tesis, se ha desarrollado una metodología de trabajo para que la entrada de datos en MODFLOW sea más sencilla y menos costosa en



**Figura 14.1-1. Mallado definido para el modelo.**

tiempo. Por otra parte, dicha metodología hace que los parámetros del modelo tengan una mayor precisión frente a una metodología tradicional.

La característica principal de esta nueva metodología es aprovechar la gran capacidad de almacenamiento y gestión de datos del sistema de información geográfica (G.I.S.) que se ha desarrollado dentro de esta misma tesis.

Dicha metódica se resumiría en la figura adjunta (figura 14.1-2). Los datos, tales como topografía de la zona de la Central, parámetros obtenidos a partir de los sondeos realizados (acuíferos existentes, espesor de acuíferos, permeabilidades, etc), niveles en los piezómetros, etc, son introducidos en el G.I.S. Toda esta información almacenada en el G.I.S. se analiza, generándose una serie de coberturas del propio G.I.S. Estas coberturas no son más que imágenes raster en las que cada posición distinguida con un diferente color tiene un valor de un determinado parámetro (permeabilidad, piezometría, etc).

Una vez tratada la información, los códigos de conexión desarrollados permiten a partir de las imágenes almacenadas en el Sistema de Información Geográfica generar una serie de ficheros de datos que son importados por MODFLOW,

dando a cada una de las celdas del modelo el valor del parámetro correspondiente. Con esto se evita el tener que introducir manualmente todos los valores para cada una de las capas, con el consiguiente ahorro de tiempo.

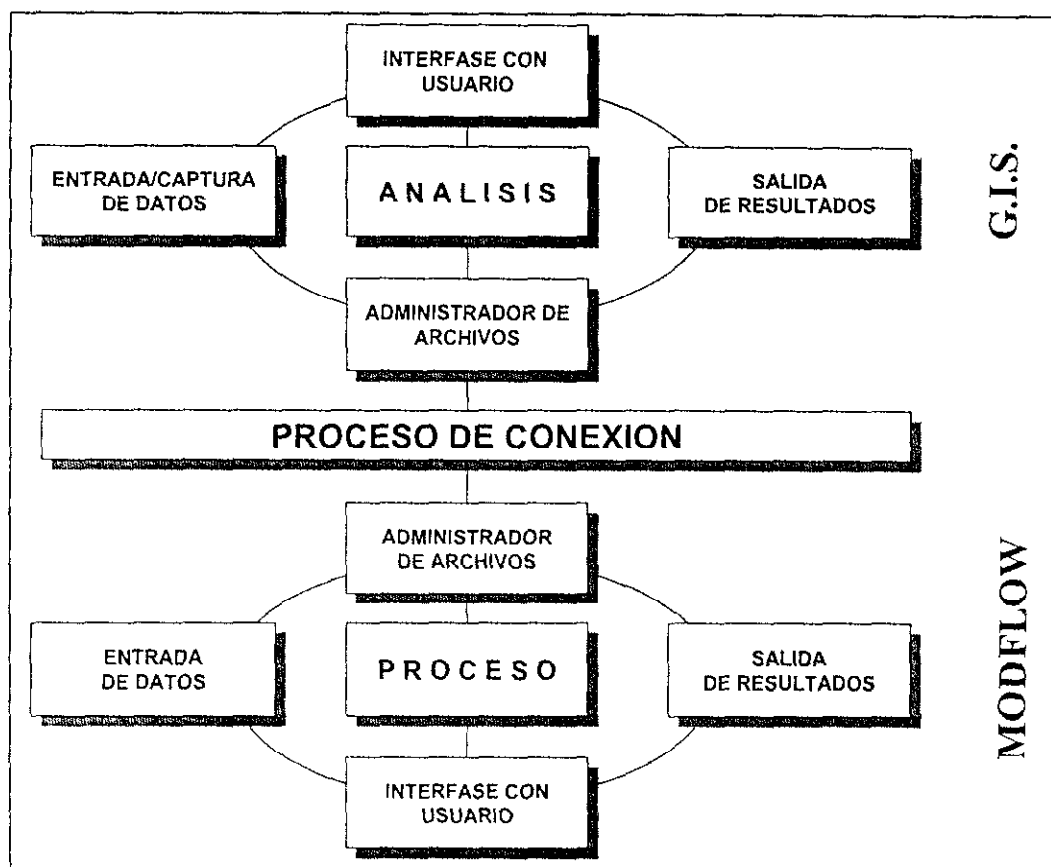


Figura 14.1-2. Metodología de tratamiento de la información utilizada.

Esta es en resumen la metodología utilizada en la presente tesis y que a continuación se desarrolla de forma más detallada, destacándose que puede extrapolarse a otros estudios análogos.

## 14.2. GENERACIÓN DE IMÁGENES RASTER. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN EL G.I.S.

Como ya se ha comentado, la definición de un modelo hidrogeológico conlleva el almacenamiento, tratamiento y clasificación de multitud de información de muy diversa índole. Toda esta información tiene, entre otras muchas, la particularidad de estar georeferenciada, es decir que cada punto geográfico (X, Y, Z) de la zona en estudio tiene unas determinadas características. Esta particularidad

hace que un G.I.S. sea la herramienta más apropiada para el almacenamiento de toda esa información.

De todas las características que tiene los G.I.S. las que han sido aplicadas en mayor medida en la presente tesis han sido:

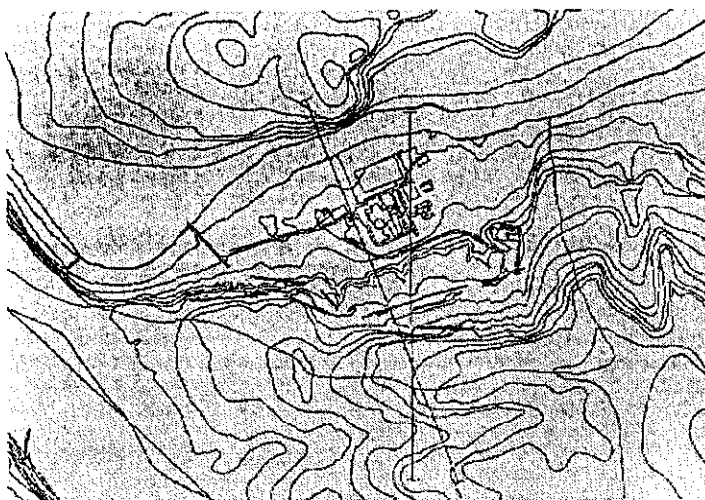
- Almacenamiento de información.
- Tratamiento de información.

Los formatos principales en los que se ha almacenado la información necesaria para la definición del modelo, han sido en formato de tablas de datos (análisis químicos, niveles piezométricos, etc) y en forma de mapas (topografía, características hidrogeológicas, etc).

Por otro lado toda esta información ha debido ser conveniente tratada para su introducción en el formato adecuado en el modelo. Los dos principales tratamientos a los que ha sido sometida la información necesaria han sido la rasterización y el giro.

Para hacer más claro e intuitivo este desarrollo tomaremos como ejemplo el caso de la topografía, y veremos cual es el camino total realizado desde la recepción de esta información hasta su entrada en el modelo hidrogeológico.

En primer lugar la información recibida para el G.I.S. viene, como se ha dicho anteriormente, de dos formas, en forma de mapas y en forma de tablas. Esta tablas, contenían información de muy diverso tipo, como por ejemplo los valores de la permeabilidad obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en los sondeos, por lo cual era fácilmente pasada a formato de mapa dentro del G.I.S. al estar georeferenciada la información.



**Figura 14.2.1. Topografía del área de la Central (sin realizar giro ni interpolación).**

Por lo tanto, al final toda la información se reduce a mapas en el G.I.S. en formato vectorial, de entidades punto (tales como los valores de propiedades hidrogeológicas de cada uno de los sondeos), o entidades lineales (como los mapas topográficos) o por último entidades polígono (como los aportes de agua que recibe el modelo: zonas de infiltración, zonas de infiltración y esconrentía, zonas de aporte por percolación, etc). Este tipo de almacenamiento de la información en formato vectorial, con sus consiguientes características ya explicadas en otros apartados, no es sin embargo muy útil para el problema tratado (definición del modelo), ya que esta información se encuentra definida solo para una serie de entidades (puntos, líneas o polígonos), y no para la totalidad del área en estudio.

Esto hace que el primer tratamiento que se de a la información una vez introducida en el G.I.S., sea una rasterización, de forma que toda esta información este en formato raster. Es decir, una vez realizada esta rasterización, cada pixel de la imagen que se haya creado tendrá un determinado valor, que será altura topográfica, permeabilidad, precipitaciones, etc., con lo cual, la información ya se encuentra extendida a la totalidad del área y no solo a un punto o línea como era el caso anterior. (véase figura 13.5.3-2).

Por otro lado, en la figura 14.2.-1 se observa como las edificaciones de la Central forma un ángulo con el Norte geográfico. Esto que puede parecer que no tiene importancia; sin embargo, si la tiene para la definición del modelo. En Modflow se trabaja con mallados con celdas de forma rectangular regular en direcciones vertical y horizontal. Esto supone que las edificaciones de la central no queden alineadas con dichas celdas.

Este hecho trae consigo numerosas complicaciones a la hora de definir las áreas impermeables de la Central, límites de la Central, etc. Para solucionar esto, se giró con el G.I.S. todas las coberturas 22.56°, con lo que se consiguió que las celdas del modelo se encontraran alineadas con las edificaciones, ganándose considerablemente en la precisión del modelo.

### 14.3. MALLADO DEFINIDO PARA EL MODELO.

El segundo paso será introducir el mallado en el G.I.S. para así conocer perfectamente que zonas quedarán incluidas en el modelo y cuales no. De esta forma se identifican también cuantas celdas o pixeles del raster generado pertenecen a cada celda del mallado de Modflow.

Como se decía en apartados anteriores el mallado definido consta de 110 celdas en dirección X y 95 en dirección Y (figura 14.1-1). El tamaño de las celdas es irregular, es decir, en las zonas cercanas a las edificaciones de la Central se tiene que las celdas son más pequeñas (6 por 6 metros), siendo el tamaño de las celdas mayor según nos alejamos de las instalaciones hasta un máximo de 48 por 48 metros. El sentido de esto es que mientras en el área cercana a la Central el conocimiento de las líneas de flujo, comportamiento de las aguas subterráneas, etc., debe ser más preciso, por lo que la discretización se hace con un tamaño menor, en las zonas más alejadas de la Central la precisión no es tan necesaria, por lo que un mallado más fino sólo complicaría el modelo no aportando nada al mismo.

Así la definición del mallado es:

▫ **En dirección X (por filas):**

- 7 celdas de 48 m, que corresponden cada una a una longitud de 8 pixeles de la imagen raster, ya que la rasterización se hizo de forma que cada pixel correspondiera a un área de 6 x 6 m.
- 5 celdas de 36 m, correspondientes a 6 pixeles cada una.
- 5 celdas de 24 m, correspondientes a 4 pixeles.
- 4 celdas de 18 m, correspondientes a 3 pixeles.
- 3 celdas de 12 m, correspondientes a 2 pixeles.
- 4 celdas de 9 m, correspondientes 1.5 pixeles.
- 57 celdas de 6 m, correspondientes a 1 pixeles.
- 4 celdas de 9 m, correspondientes a 1.5 pixeles.
- 4 celdas de 12 m, correspondientes a 2 pixeles.
- 4 celdas de 18 m, correspondientes a 3 pixeles.
- 4 celdas de 24 m, correspondientes a 4 pixeles.
- 4 celdas de 36 m, correspondientes a 6 pixeles.
- 5 celdas de 48 m, correspondientes a 8 pixeles.

◦ **En dirección Y (por columnas):**

- 64 celdas de 6 m, correspondientes a un pixel cada una.
- 4 celdas de 9 m, correspondientes a 1.5 pixeles.
- 5 celdas de 12 m, correspondientes a 2 pixeles.
- 5 celdas de 18 m, correspondientes a 3 pixeles.
- 6 celdas de 24 m, correspondientes a 4 pixeles.
- 6 celdas de 36 m, correspondientes a 6 pixeles.
- 5 celdas de 48 m, correspondientes a 8 pixeles.

#### 14.4. **CODIGO DE CONEXIÓN DESARROLLADO. ALGORITMO.**

Una vez definido el mallado del modelo y almacenada toda la información necesaria por este en el G.I.S., hay que hacer disponible esta información a la herramienta encargada de resolver el modelo, Modflow. Esto requiere que las imágenes raster del G.I.S. puedan ser "leídas" Modflow, por lo que se tienen que someter a una "traducción", que es lo que hacen los códigos de conexión desarrollados.

La rasterización se realiza para un tamaño de pixel fijo, es decir, tiene una discretización de pantalla regular. Sin embargo, el mallado definido en Modflow, tiene como se ha visto anteriormente una discretización irregular, por lo que el acceso a los datos de las imágenes raster no es directo.

Para facilitar la labor de los códigos de conexión se eligió un tamaño de pixel para la imágenes raster, cuya correspondencia con la realidad era de 6 por 6 metros, por lo que para la zona del mallado del modelo en la que la discretización coincidía con este mallado (instalaciones de la Central y Terraza) las operaciones que debía hacer el código de conexión eran menores.

Sin embargo en las zonas alejadas de las instalaciones, y como se puede ver en la figura 14.4-1, una celda del mallado contiene varias de la imagen raster, por lo que el código de conexión debe calcular el valor medio para dicha celda del modelo.

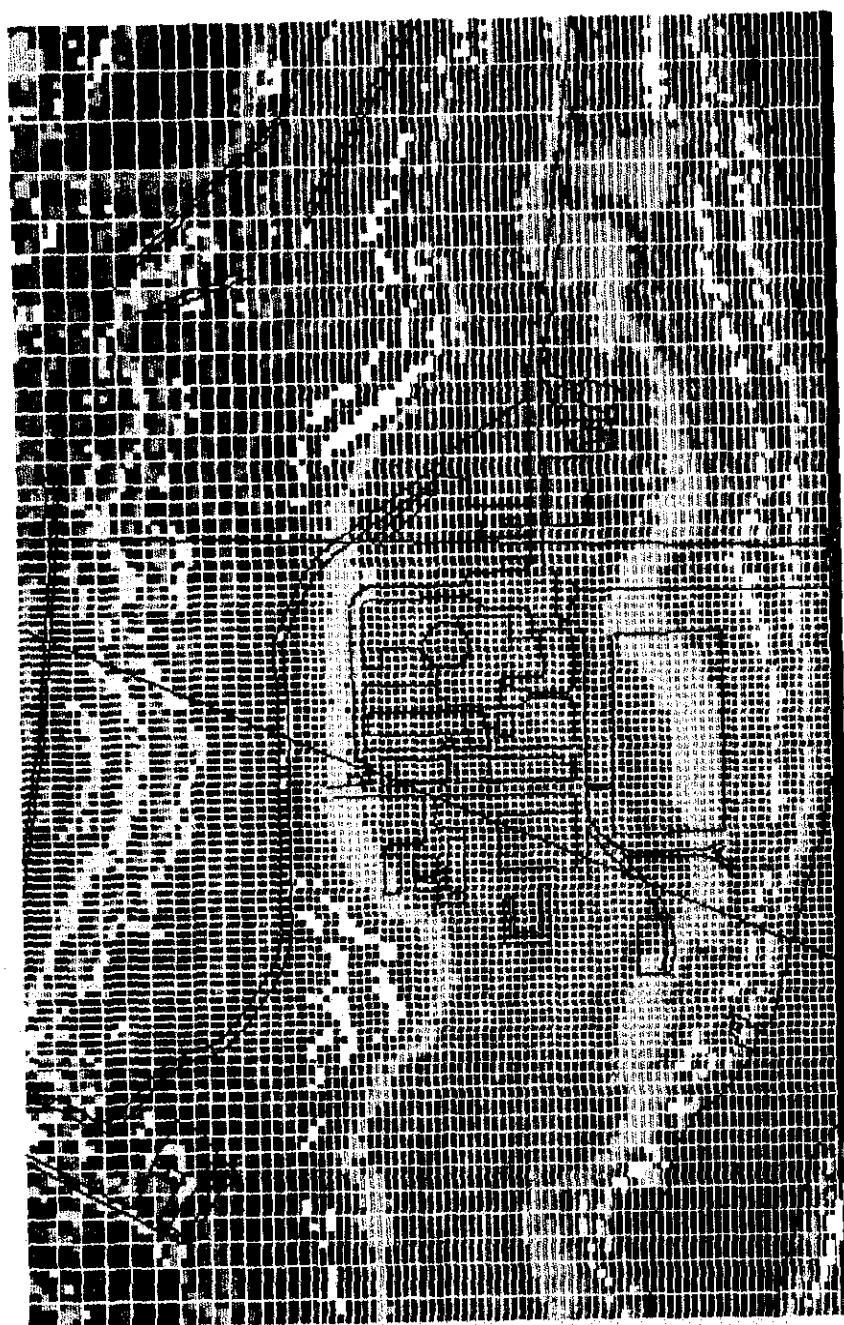
Por otro lado, los formatos de almacenamiento de los ficheros raster, no coinciden con los de entrada de Modflow, por lo que el código de conexión debe cambiar el formato de la imágenes raster a un formato que entienda Modflow.

Es decir las funciones que debe cumplir el código de conexión son:



- Detectar en que celda del mallado del modelo se encuentra y calcular el valor de la propiedad que le corresponde de la imagen raster.
- Generar, a partir de los valores calculados, un fichero de datos para Modflow, para cada una de las propiedades necesarias para definir el modelo.

**Figura 14.4-1. Topografía del área de la Central (cada pixel de un color), con el mallado del modelo en Modflow superpuesto (celdas formadas por las líneas blancas).**



Para este estudio se generó un código específico implementado en Visual Basic, que sin embargo puede ser, con muy poco cambios, adaptado para cualquier otro modelo que se defina de forma diferente al de la presente tesis.

El algoritmo de dicho código se representa en las figuras 14.4-2a y 14.4-2b, cuya explicación es la siguiente:

- El fichero raster se va leyendo fila a fila (variable i). Al principio del raster hay una serie de filas que no pertenecen al modelo, estas solo se leen, ya que el fichero raster es de tipo secuencial. Así, como se ve en el organigrama, el modelo se encuentra entre las filas 166 y 360, cuando i está en este intervalo se llama a la subrutina FILA.
- En la subrutina fila se da un valor a la variable LIM según el valor de i; esto controla en que parte de la columna del mallado nos hayamos. Por ejemplo, si estamos en las primeras filas del modelo, solo tendremos que leer una fila (LIM=1), pero si estamos en la zona de 48 m, deberemos leer 8 filas para calcular el valor medio de esa área (LIM=8).
- Con esto se va calculando el valor medio de cada celda del mallado de Modflow, obteniéndose finalmente un fichero que es importable por Modflow para la definición del modelo.

Una vez que se tiene completamente definido el modelo matemático, es decir se han definido todos los ficheros que contienen los parámetros necesarios a partir de las imágenes raster, MODFLOW resuelve la ecuación del flujo. Resuelta dicha ecuación, las isopiezas obtenidas como resultado, pueden ser introducidas en el G.I.S. como nueva cobertura, teniendo así centralizada toda la información referente al entorno de la Central, con la correspondiente rapidez de consulta.

Como resumen se puede decir que tanto la metodología definida para definir el modelo, como el código de conexión implementado para llevar a cabo esta estrategia, han propiciado que se consiga un desarrollo del modelo más rápido y preciso, gracias a la utilización conjunta de sistemas de información geográfica que permiten el análisis y almacenamiento de multitud de parámetros, y herramientas como Modflow, para realizar la modelización del flujo. Así pues, la conexión entre los G.I.S. y los códigos encargados de realizar modelos hidrogeológicos, permitirá obtener directamente parámetros de dichos modelos, con lo que el desarrollo del mismo se facilitará enormemente, no solo en esta definición inicial del modelo, sino en la posterior de calibración y ajuste de parámetros.

Figura 14.4-2a. Algoritmo del Código de Conexión.

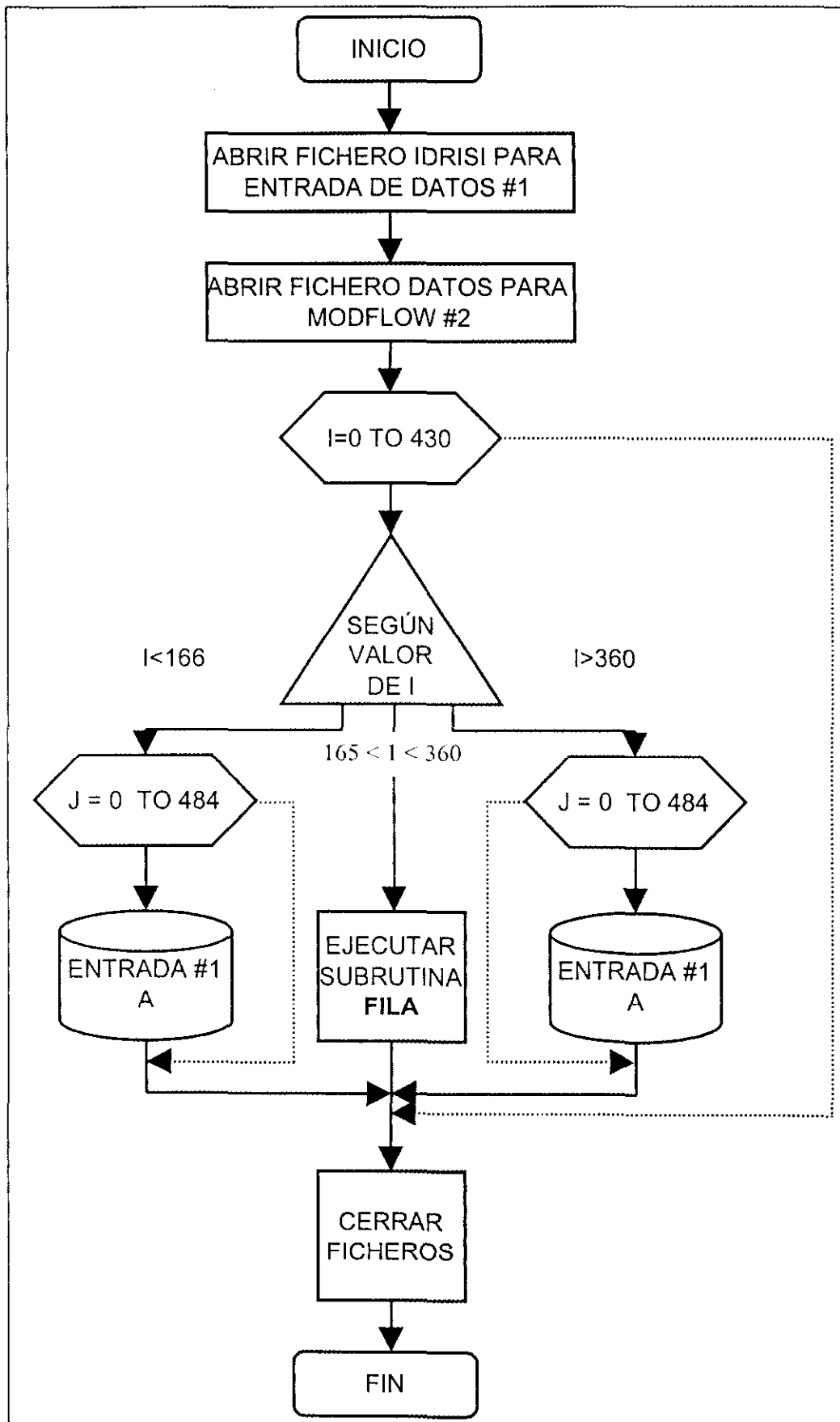
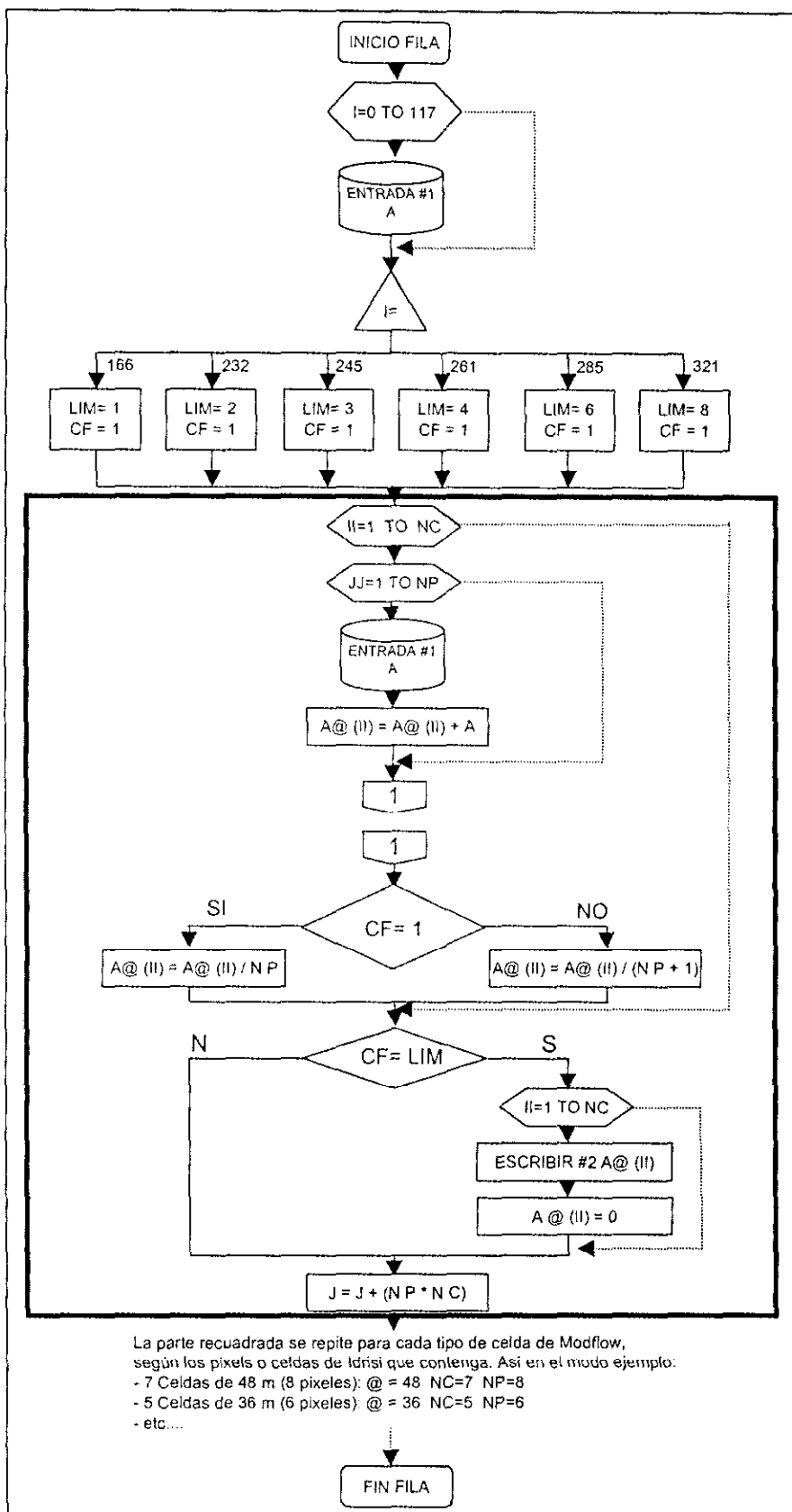


FIGURA 14.4-2b. ALGORITMO DEL CODIGO DE CONEXIÓN.



# **SIMULACION DE RIESGOS DE CONTAMINACION QUIMICA Y RADIOQUIMICA MEDIANTE EL EMPLEO DE SISTEMAS INFORMATICOS:**

**APLICACIÓN AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA**



## **CAPITULO IV CONCLUSIONES**



---

## CONCLUSIONES

---

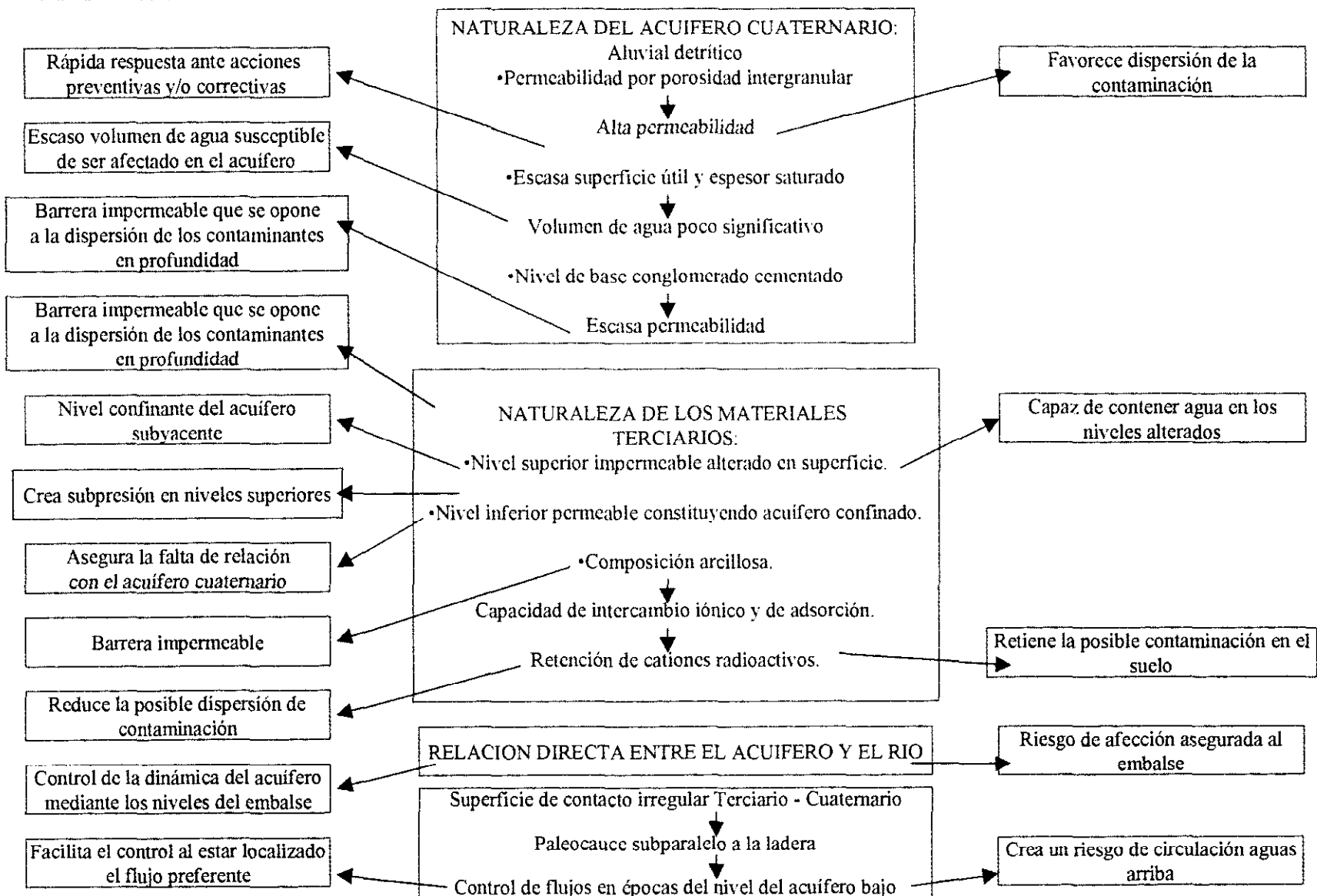
En función de lo expuesto en los capítulos precedentes y sus correspondientes anexos, se derivan las siguientes conclusiones:

1. La valoración conjunta de las características químicas e hidrogeológicas del medio analizado, permiten identificar una serie de factores generadores de riesgo de dispersión de la contaminación y otros que participan reduciéndolo o facilitando su control. Ello queda reflejado en la figura adjunta.
2. El trabajo ha permitido establecer un adecuado plan de vigilancia y control de las aguas subterráneas, tal como se describe en el siguiente capítulo.
3. En el emplazamiento de CNJC, se han identificado dos acuíferos completamente independizados: uno superior no confinado (cuaternario) y otro inferior confinado (terciario).
4. La dinámica del acuífero aluvial detrítico, está directamente relacionada con el funcionamiento del embalse de Zorita.
5. La utilización de Sistemas de Información Geográfica (GIS), ha permitido gestionar toda la numerosa información de una forma rápida y eficiente.
6. El hecho de tener dicha información de forma georeferenciada, permite realizar mapas de los diferentes parámetros introducidos, con la consiguiente ventaja de su visualización.
7. Con el GIS puede generarse planos, tablas, representaciones gráficas, etc, lo que facilita, además de la interpretación de resultados, la edición de informes específicos.
8. La conexión del GIS con el modelo de flujo y transporte ha permitido que el modelo se ejecutase de un modo más rápido y preciso. Por ello, cualquier cambio que sea preciso realizar en el modelo se efectúa en el GIS, volcándose a continuación en el modelo. Esta metodología de conexión, puede adaptarse con muy pocos cambios para cualquier otro modelo requerido en estudios similares.
9. El modelo permite realizar análisis de escenarios para predecir de un modo fiable el comportamiento del acuífero ante cualquier situación (variaciones en el nivel del embalse, sequía, lluvias intensas, tipo de contaminantes, etc). Obviamente este aspecto es fundamental ante una hipotética contaminación del acuífero. Las medidas a adoptar en una situación de esta naturaleza, pueden ser ensayadas a través del modelo para ver su efectividad, previo a su aplicación real.
10. Este estudio complementa los realizados sobre las aguas superficiales (véase Capítulo V), para determinar el impacto ambiental radiológico a la población.

## EFFECTOS FAVORABLES

## FACTOR DEL MEDIO

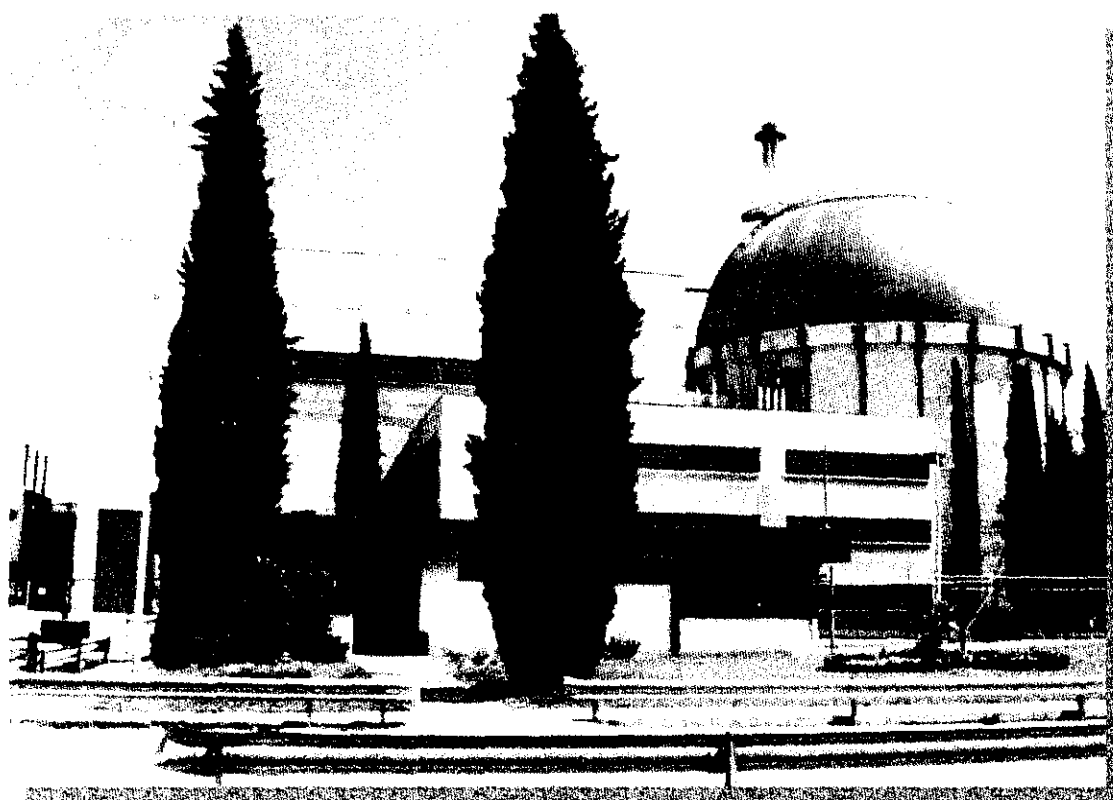
## EFFECTOS DESFAVORABLES





**SIMULACION DE RIESGOS DE  
CONTAMINACION  
QUIMICA Y RADIOQUIMICA  
MEDIANTE EL EMPLEO DE  
SISTEMAS INFORMATICOS:**

**APLICACIÓN AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA**



**CAPITULO V  
RECOMENDACIONES**



---

## RECOMENDACIONES

---

### 1. INTRODUCCIÓN.

Un objetivo fundamental del estudio, era recomendar un Plan de Vigilancia y Control (PVC) de las aguas subterráneas del emplazamiento de CNJC. Pero también, dicho estudio ha servido para proponer otro tipo de recomendación, como es su potencial referencia para estudios análogos de carácter medioambiental donde se tenga que manejar una gran cantidad de información. Que duda cabe, que la informática mejora cada día sus prestaciones, por lo que algunas de estas singulares operaciones que aquí se han descrito y se recomiendan, podrían ser incluidas y muy mejoradas a corto plazo en los nuevos paquetes informáticos.

Volviendo al PVC y en función de lo descrito en los capítulos anteriores, se desprende el siguiente alcance:

- i. Realizar un seguimiento químico, radioquímico y piezométrico de los sondeos, para detectar posibles desviaciones en la calidad de las aguas subterráneas, así como en sus correspondientes niveles.
- ii. Aportar los datos anteriores, junto con los meteorológicos e hidrológicos, al modelo desarrollado. Ello permite ampliar la base de datos, la actualización del modelo y por ende afinar el comportamiento del acuífero ante cualquier alteración externa.
- iii. Establecer las técnicas pertinentes para mitigar los efectos adversos sobre las aguas subterráneas y su correspondiente vía de exposición, en el supuesto de una contaminación de las mismas.

### 2. BASES DEL PLAN.

La CNJC se encuentra ubicada sobre el segundo nivel de terraza aluvial del río Tajo, a la altura del embalse de Zorita.

La superficie de la terraza está situada tan solo unos metros por encima del nivel del río y sus características litológicas y estructurales la conforman como un acuífero detrítico libre cuya dinámica está directamente relacionada con el embalse.

El depósito cuaternario se apoya directamente sobre una formación terciaria constituida principalmente por niveles arcillosos y margosos con yesos muy impermeables, que constituyen un acuífero que aísla el acuífero confinado existente en profundidad.

Bajo estas condiciones, una hipotética contaminación del suelo, genera un riesgo sobre el acuífero aluvial y el río Tajo en la zona del embalse de Zorita.

## 2.1. NATURALEZA DEL ACUÍFERO CUATERNARIO.

Es un acuífero aluvial detrítico, en general constituido por arenas y limos, por tanto permeable por porosidad intergranular. Ello conlleva una permeabilidad más o menos alta que favorece la dispersión de la contaminación y al mismo tiempo ofrece una rápida respuesta a las acciones que se puedan aplicar para la retención y/o vaciado del agua.

Sin embargo se trata de un acuífero con una superficie "útil" en relación con la CNJC que no supera los  $0,6 \text{ Km}^2$  y presenta un reducido espesor saturado, de manera que el volumen de agua susceptible de contener, es escasa y en caso de producirse cualquier fuga, la cantidad de agua en el acuífero que podría verse afectada no sería demasiado importante.

La presencia, bastante generalizada, de un nivel de terraza inferior constituido por un conglomerado de gravas más o menos cementado por cemento carbonatado, constituye una barrera de baja permeabilidad que limita el flujo vertical del agua dificultando la dispersión de contaminantes en profundidad.

## 2.2. NATURALEZA DE LOS MATERIALES TERCIARIOS.

Se distinguen dos tipos de materiales terciarios en la zona, dispuestos discordantes entre sí aunque con una orientación de las capas prácticamente subhorizontal.

El nivel superior está constituido por arcillas, areniscas y margas miocenas con yesos intercalados que presentan niveles areniscos correspondientes a paleocanales muy locales.

Estos materiales son de muy baja permeabilidad siendo únicamente capaces de contener agua en los niveles alterados más superficiales.

Por debajo de estos aparecen otros materiales que presentan baja permeabilidad pero algo mayor a los descritos anteriormente. Estos materiales más permeables constituyen un acuífero confinado por los niveles permeables superiores, que ha sido cortado por los sondeos profundos resultando surgentes y está situado entre 60 y 80 m de profundidad.

Los materiales arcillosos impermeables constituyen una barrera física a la circulación vertical del agua desde el Cuaternario al Terciario. Pero además las arcillas presentan unas características estructurales (capacidad de intercambio iónico y capacidad de absorción) que les hacen capaces de retener cationes bien en su red cristalina, bien en la gran superficie específica que presentan estos filosilicatos.

Las arcillas suelen presentar de manera natural elementos radioactivos incluidos en su estructura debido a la capacidad de retención que tienen. Esta propiedad actúa de manera positiva al reducir la dispersión de la posible contaminación radioactiva a través del agua. Pero también se crea el efecto contrario ya que los cationes captados se concentran en el terreno quedando retenida la contaminación en el suelo.

### **2.3. RELACION DIRECTA ENTRE EL ACUIFERO ALUVIAL Y EL RIO TAJO.**

El agua contenida en el depósito cuaternario mantiene una dinámica directamente relacionada con los niveles de agua alcanzados en el embalse de Zorita.

Este embalse habitualmente se mantiene a un nivel medio de 599,8 m de manera constante, pero cuando se han producido oscilaciones en el mismo, se reflejan directamente en los niveles piezométricos, demostrando la influencia del embalse en el flujo de agua en la terraza.

Este factor de relación probada, supone un riesgo inmediato en el caso de producirse contaminación del acuífero aluvial, porque afectaría al río. Pero a la vez facilita el control sencillo, directo y rápido sobre el acuífero, ya que en una bajada del nivel del embalse acentúa el flujo del agua desde el acuífero hacia el río de manera que se produce un "vaciado" de la terraza y por el contrario un aumento en el nivel del embalse produce un estancamiento del agua de la terraza que deja de aportar agua al río.

### **2.4. SUPERFICIE DE CONTACTO IRREGULAR ENTRE EL TERCIARIO Y EL CUATERNARIO.**

Se trata de una superficie erosiva acentuada por la existencia de un paleocanal en el borde sur de la terraza subparalelo a la ladera terciaria.

Este paleocauce canaliza los flujos de agua especialmente en la zona del reactor y en épocas de estiaje o con el embalse por debajo del nivel medio.

La existencia del paleocanal solo tendría importancia en estos períodos de nivel de agua bajo en el acuífero, aunque por otra parte, plantea la existencia de un flujo de agua en dirección O-E, opuesta al flujo natural en la zona ("aguas abajo") que podría reducirse en estos períodos extremos a favor del canal desde la zona del reactor hasta el embalse "aguas arriba".

Por este motivo, se construyeron 2 nuevos pozos en el área de la Central, situados sobre el referido paleocanal, aguas arriba y aguas debajo de la construcción principal, asegurando el control de un posible flujo canalizado del agua en esta área.

### 3. **DESARROLLO DEL PLAN.**

En la figura 3-1 se esquematiza este Plan para la CNJC. Su descripción detallada es la siguiente:

#### 3.1. **TRABAJOS DE MATENIMIENTO PIEZOMÉTRICO.**

Los trabajos de mantenimiento piezométrico se refieren a las labores de limpieza y acondicionamiento de cada uno de los pozos instalados en el entorno de la Central, que debido a las características de los materiales que constituyen el depósito Cuaternario, deben ser revisados y limpiados para evitar la acumulación de finos en su interior y asegurar una adecuada respuesta ante los cambios que puedan sufrir el acuífero a lo largo de los sucesivos períodos de medidas.

Se procederá a una limpieza exhaustiva de cada piezómetro mediante la inyección de aire a presión (AIR-LIFT).

Una metodología podría ser la siguiente:

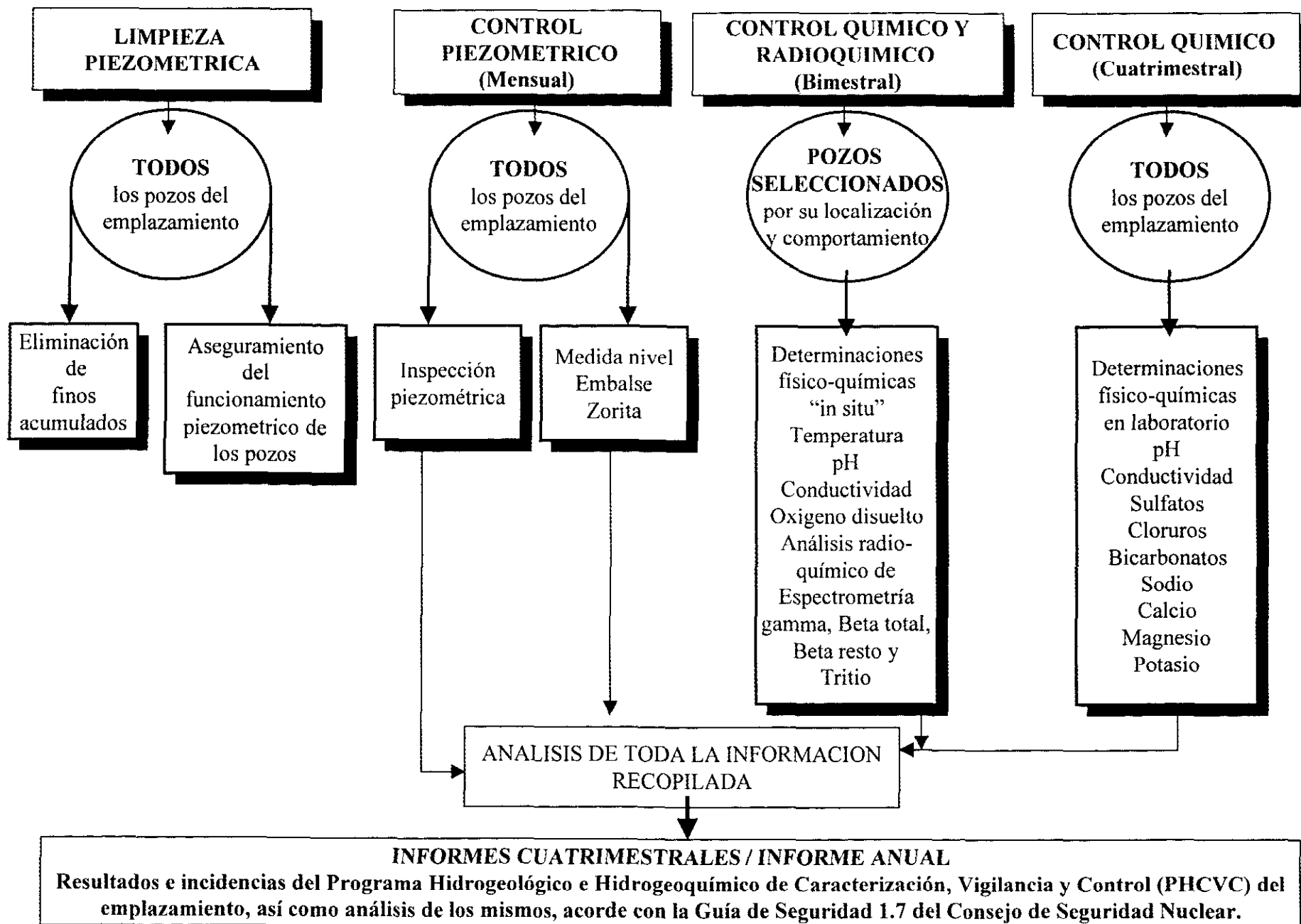
Se introduce una tubería por la que se inyecta aire a presión al sondeo. Esta tubería deberá alcanzar la profundidad a la que se encuentre la ranura en cada piezómetro.

La introducción de aire deberá ser baja al principio, para ir aumentándose progresivamente, ya que si se inicia a presión muy elevada podría dañarse la entubación.

Se procede al desarrollo del pozo con aire comprimido, inyectándose el aire en 3 etapas de 20 minutos y dejando entre ellas 10 de reposo.

En caso de que tras la tercera inyección el agua aún no salga clara, se repetirá el proceso tantas veces como sea necesario hasta asegurarse la limpieza piezométrica completa.

**Fig. 3-1. Plan de Vigilancia y Control de las Aguas Subterráneas.**



La limpieza se realiza de modo que los piezómetros estén dispuestos para el primer muestreo con el tiempo suficiente que asegure su recuperación. Las acciones aplicadas quedarán reflejadas en un parte que recoja al menos los siguientes aspectos:

- Observaciones durante el proceso.
- Confirmación de la obtención de agua limpia.
- Nivel piezométrico después de la limpieza.
- Responsable del proceso de limpieza.

### 3.2. CONTROL PIEZOMÉTRICO PERIÓDICO.

Este control en todos los pozos, podría realizarse con frecuencia mensual, acompañado de un control del nivel del embalse de Zorita, a fin de poder precisar las condiciones hidrodinámicas del acuífero aluvial en relación con los muestreos que se realicen.

Dicho control se desarrollará antes de cada muestreo.

Tal como se ha expuesto, los estudios detectan una relación directa entre la dinámica del acuífero aluvial y el nivel del embalse. La cota de agua en este se mantiene constante a 599,8 m debido a las necesidades de refrigeración de la Central.

En estas condiciones las oscilaciones piezométricas son mínimas y responden a los registros meteorológicos.

Sin embargo, en el caso de producirse un descenso en la cota de agua del embalse por debajo de su nivel habitual, se modificará la periodicidad del control piezométrico para adaptarla a las nuevas condiciones del acuífero, llegándose en este caso a medirse el nivel con frecuencias diarias si fuese necesario.

### 3.3. CONTROL QUIMICO Y RADIOQUIMICO.

Una vez definido el modelo de la zona y establecidas las características de la circulación del agua en el acuífero aluvial, totalmente independiente del terciario subyacente, se han simulado diferentes condiciones en las que puede encontrarse el acuífero:



- i. Flujo de agua en período normal, con el embalse a su nivel habitual de 599,8 m representado en la figura 3.3-1 de las isopiezas y líneas de corriente.
- ii. Flujo de agua (isopiezas y líneas de corriente) de un momento de nivel del embalse mínimo, como fue el del 12 de febrero de 1997. (Figura 3.3-2).
- iii. Flujo de agua (isopiezas y líneas de corriente) con el nivel del embalse por encima de su nivel medio, como sucedía el 31 de marzo de 1997, tras la recuperación de niveles después de las obras en la presa. (Figura 3.3-3).
- iv. Movimiento de partículas desde una zona de almacenamiento de residuos sólidos, en un momento de recarga máxima normal y nivel mínimo del embalse. (Figura 3.3-4).
- v. Trayectoria seguida por las partículas en condiciones extremas de recarga del acuífero y con el nivel normal del embalse (599.8 m) (Figura 3.3-5).

Figura 3.3-1. Isopiezas y líneas de corriente en la terraza aluvial calculadas por el modelo matemático para julio 1997.

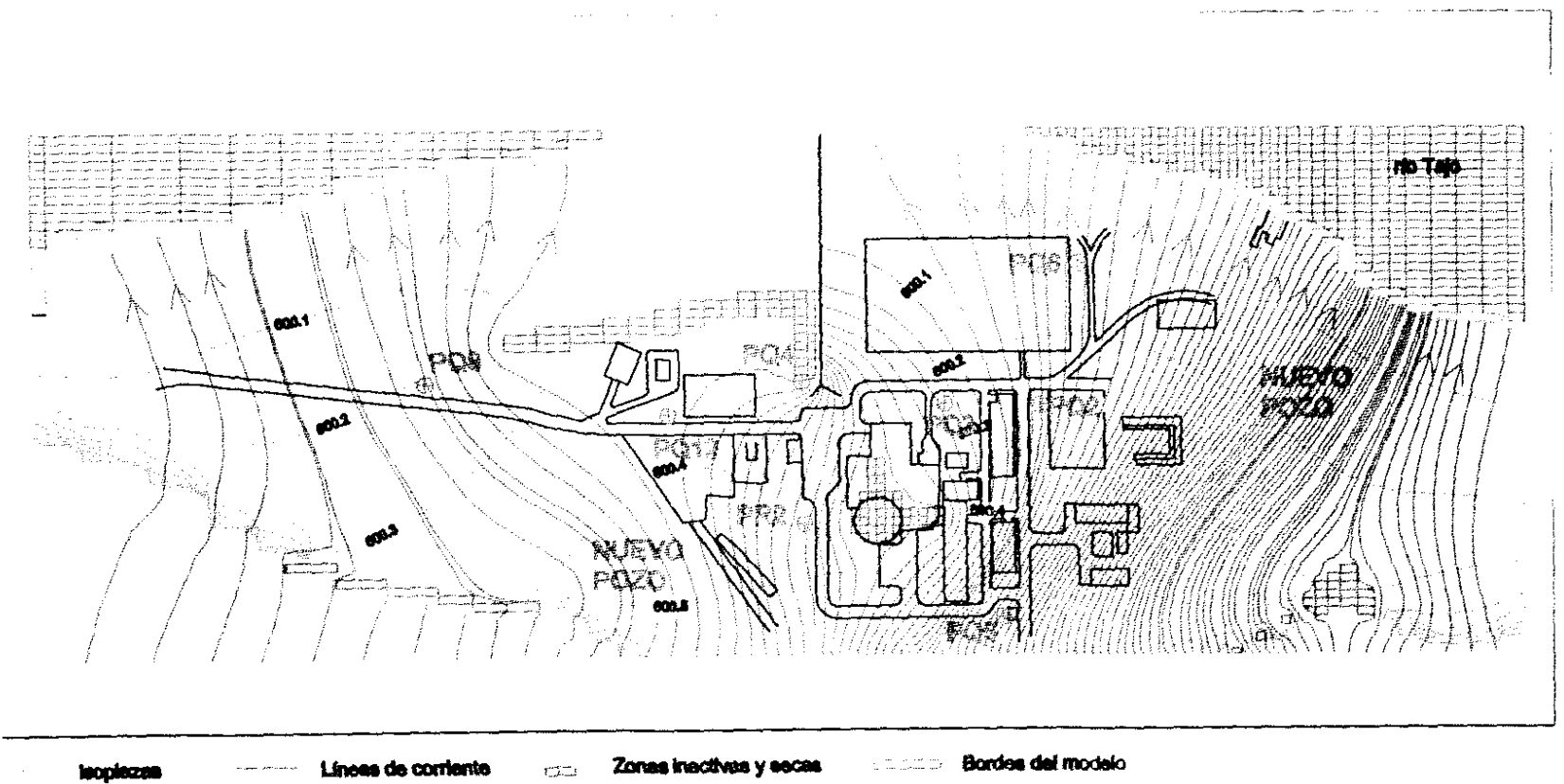


Figura 3.3-2. Isopiezas y líneas de corriente en la terraza en día de máximo descenso del embalse (12 de febrero de 1997).

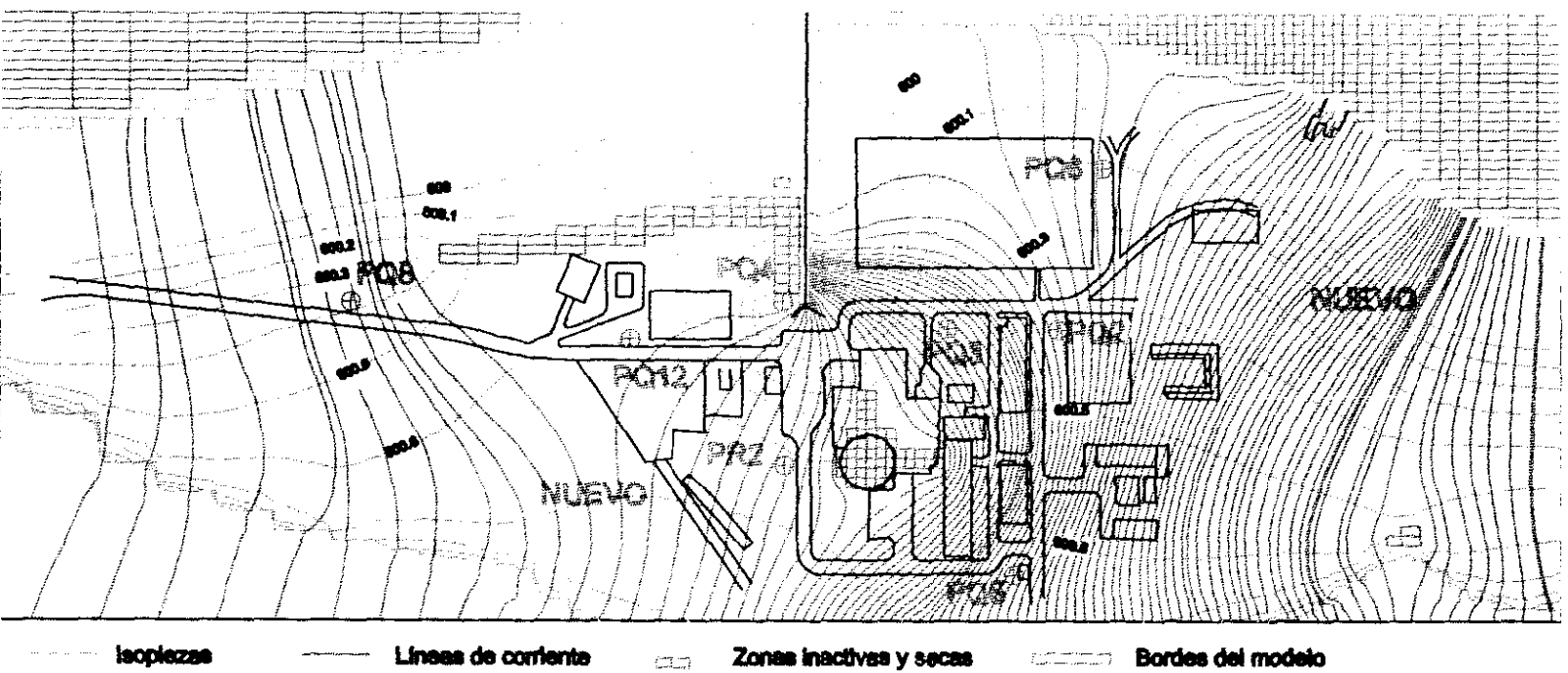
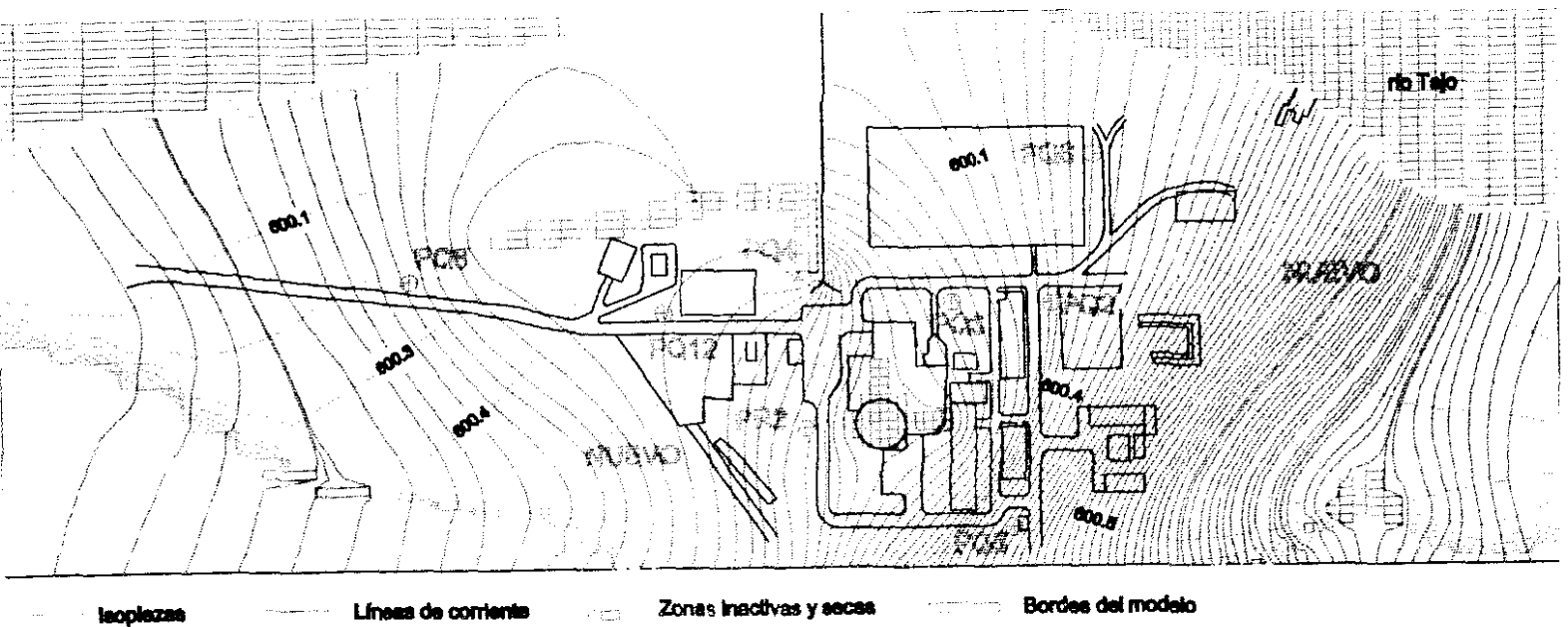


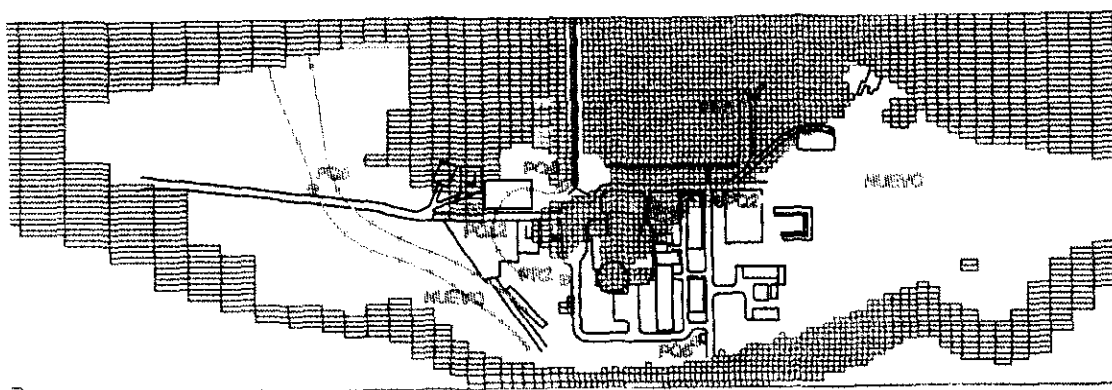
Figura 3.3-3. Isopiezas y líneas de corriente el 31 de marzo de 1997 en condiciones de recarga normal pero con un nivel del embalse superior al medio.



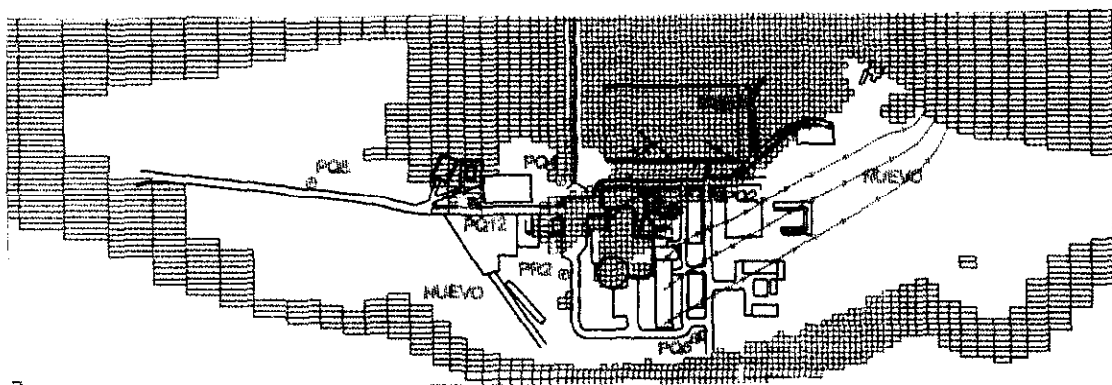
**Figura 3.3-4. Trayectoria de las partículas a partir de un edificio de almacenamiento de residuos sólidos, en una simulación de condiciones críticas: Momento de recargas máximas y nivel mínimo del embalse.**

En estas condiciones se observa un descenso agudo del nivel del agua en el acuífero de manera que la amplia zona central en la que se ubica el supuesto domo de la superficie de contacto Terciario-Cuaternario, queda seca, mientras la circulación del agua y por tanto del movimiento de las partículas se produce “aguas abajo” y “aguas arriba” por el paleocauce.

**1. Flujo en dirección sureste-noroeste.**

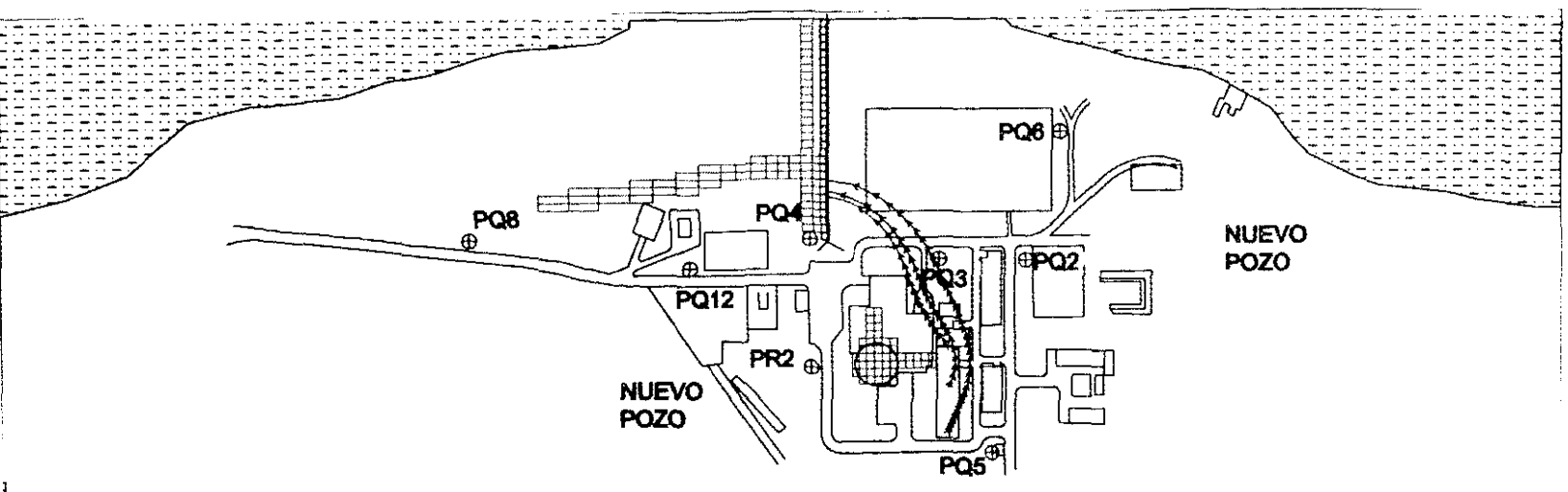


**2. Flujo en dirección suroeste-noreste.**



La primera figura muestra la trayectoria a través del paleocanal en sentido “aguas abajo” con un tiempo total aproximado hasta la llegada de la partícula al río de unos 600 días, mientras la segunda refleja la dispersión de las partículas “aguas arriba” con un tiempo total aproximado hasta la llegada de la partícula al río de unos 2000 días.

Figura 3.3-5. Trayectoria seguida por las partículas en unas condiciones extremas de recarga del acuífero.



La distribución de los flujos, sus velocidades y los tiempos de dispersión de las partículas, han permitido establecer los pozos que precisan de un mayor control y sus periodicidades analíticas.

Los resultados analíticos obtenidos hasta la fecha en las muestras de los piezómetros y el embalse, así como su estudio estadístico, han permitido diferenciar 3 factores o grupos de parámetros claramente diferenciados entre los distintos grupos, pero correlacionados entre sí en el mismo factor, que son los que aportan más información en el global de los resultados.

- 1ª Factor: potasio, conductividad, sulfatos, radiación  $\beta$  total, magnesio.
- 2ª Factor: pH de campo y de laboratorio.
- 3º Factor: calcio.

La información extraída del resto de los parámetros analizados no resulta significativa o no permite la obtención de conclusiones, de manera que se han podido simplificar los parámetros analíticos que deben determinarse en los controles de agua sin perder información.

Todo ello ha permitido establecer 2 grupos de piezómetros que se muestrearán a lo largo del año con periodicidad diferente, para el control químico y radioquímico del agua subterránea:

- Control analítico específico (pozos seleccionados).
- Control analítico general.

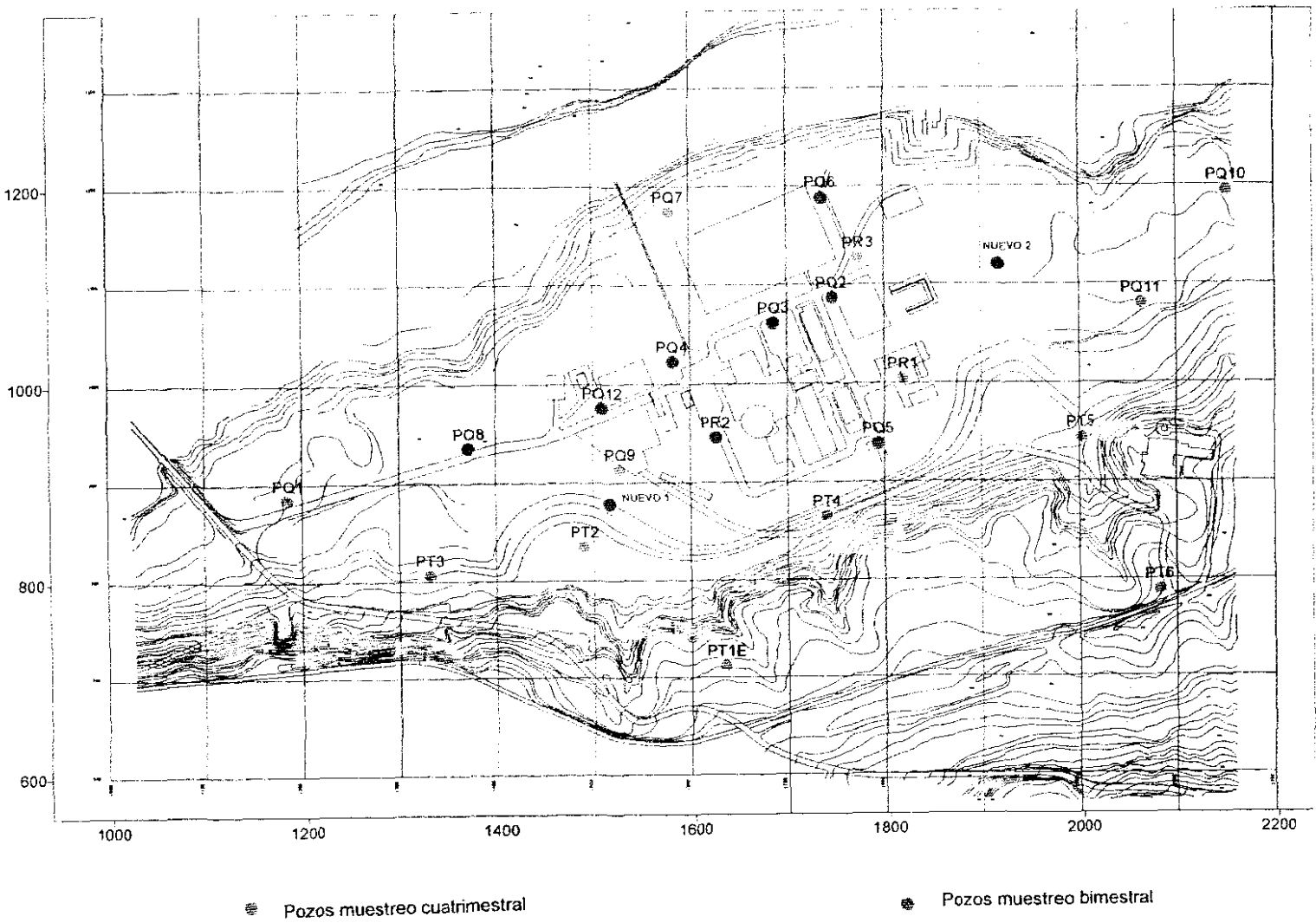
### **3.3.1. Control Analítico Específico (pozos seleccionados).**

Con frecuencia bimestral se tomarán muestras del agua en los pozos PQ2, PQ3, PQ4, PQ5, PQ6, PQ8, PQ12, PR2, PP1 y PP2. (Estos dos últimos figuras a veces en las gráficas como Nuevo 1 y Nuevo 2).

Se han seleccionado estos 10 piezómetros por su localización respecto a los edificios principales de la Central y los flujos predominantes en la terraza. En la figura 3.3.1-1 se exponen los pozos en función de la frecuencia del muestreo y analítica.

Este control bimestral consistirá en un **análisis físico-químico “in situ”** de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, y radioquímico en laboratorio de espectrometría gamma, beta total, beta resto y tritio. Ellos servirán como control indirecto para la detección de cualquier anomalía en el agua, ya que pH y conductividad son dos de los parámetros básicos para explicar la variabilidad observada en el agua según se determinó a partir del análisis estadístico.

Figura 3.3.3-1. Control analítico bimestral y cuatrimestral en los pozos de la CNJC.





Por otra parte, los análisis radioquímicos permiten detectar cualquier alteración radiológica del agua en el acuífero. Téngase en cuenta también, que con carácter mensual se realiza un control químico y radiológico de las aguas superficiales dentro del Plan de Vigilancia Radiológica del Medio Ambiente (PVRMA).

### **3.3.2. Control Analítico General.**

A los 23 piezómetros instalados, se les efectuará un control analítico cuatrimestral, determinándose aquellos parámetros físico-químicos cuya significación es relevante para los objetivos de este Plan: (véase capítulo III. Apartado 11). Estos son:

- PH.
- Conductividad.
- Bicarbonatos.
- Sulfatos.
- Cloruros.
- Calcio.
- Magnesio.
- Sodio.
- Potasio.

### **3.4. RECOPIACION DE INFORMACION Y REDACCION DE INFORMES.**

Debido a la importancia de las condiciones climáticas de la zona sobre el acuífero aluvial, principalmente por la influencia de las precipitaciones en la recarga, y dado que la simulación realizada en condiciones extremas reduce el tiempo de llegada de una partícula desde uno de los núcleos conflictivos (almacén nº 1) hasta el río a unos 30 días aproximadamente, será necesario a su vez, realizar un seguimiento quincenal de la información meteorológica recogida por la central y los centros meteorológicos de Salto de Bolarque y Salto de Zorita, de manera, que en caso de producirse una anomalía que modifique significativamente las recargas, se proceda a la realización de un control de aguas extraordinario que garantice el estado de las aguas subterráneas y detecte una anomalía antes de que esta alcance el embalse.

Además, debe aprovecharse cualquier modificación en el nivel de agua del embalse para la recogida pormenorizada de información que facilite la comprobación del funcionamiento del modelo matemático, de manera que los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones sean fieles representaciones de la realidad.

Toda la información obtenida, como es,

- Piezometría.
- Análisis químicos.
- Análisis radioquímicos.
- Parámetros meteorológicos.
- Parámetros hidrológicos.

se incorporará al GIS derivado de este proyecto, generándose informes cuatrimestrales y un informe anual de acuerdo con lo requerido en la Guía de Seguridad 1.7 del Consejo de Seguridad Nuclear.

#### 4. TECNICAS DE CONTROL.

En una central nuclear, las barreras de ingeniería asociadas a los sistemas que contienen fluidos potencialmente contaminantes, constituyen la primera técnica de control para evitar una hipotética contaminación de las aguas subterráneas.

Aunque este aspecto está exhaustivamente desarrollado en toda instalación nuclear, ello no presupone que no se adopten otras medidas complementarias para prevenir y corregir si fuese necesario la contaminación, en esta caso del acuífero de la terraza aluvial sobre la que se asienta la CNJC.

El referido PVC es la herramienta indispensable para llevar adelante este control.

##### 4.1. PROCEDIMIENTO GENERAL OPERATIVO.

Si aun a pesar de las citadas barreras se produjese una anomalía que diese lugar a la contaminación de las aguas subterráneas, el procedimiento de carácter general que a continuación se describe sería el recomendado para paliar los efectos adversos de dicha contaminación:

- i. Incrementar la cota del embalse y proceder a la toma de muestras de agua en todos los piezómetros, comenzando por los pozos seleccionados.
- ii. En paralelo con lo anterior, determinar los niveles piezométricos.
- iii. Tomar muestras de las aguas superficiales del embalse.
- iv. Realizar los correspondientes análisis químicos y radioquímicos de las muestras.
- v. Introducir los resultados en el modelo determinando los flujos de agua y transporte de las sustancias. Realizar análisis de diferentes escenarios para afinar las técnicas correctivas siguientes.
- vi. En función de los resultados anteriores, bombear, si procede, el agua de los piezómetros hasta el sistema de tratamiento de residuos líquidos de la central. Tras la recuperación del nivel en los pozos por infiltración de agua del embalse en el acuífero y potenciales recargas, repetir la operación de bombeo y trasvase hasta la normalidad de los valores, según resultados analíticos.
- vii. Una vez "lavado" el acuífero, llevar la cota del embalse a su valor normal de 600 m, estableciéndose un mayor control de las aguas superficiales. Los resultados analíticos acompañados de su correspondiente cálculo radiológico de dosis a la población, darán la pauta para continuar de este modo o volver a la situación anterior.

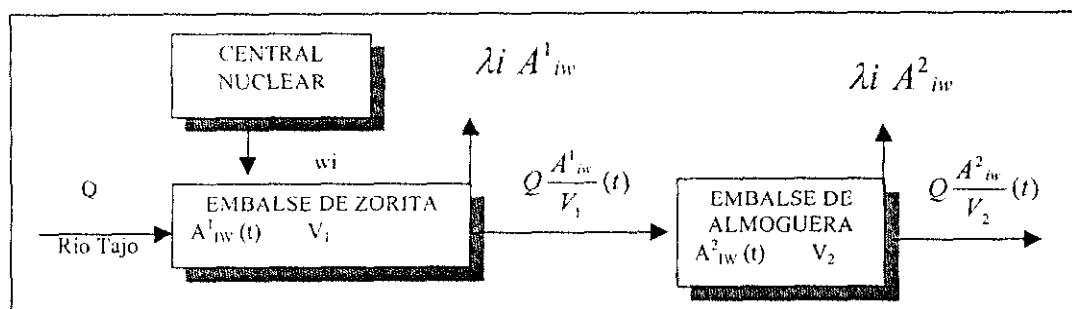
- viii. También puede ser aconsejable, siempre que los referidos cálculos analítico-radiológicos lo permitan, bajar el nivel del embalse, permitiendo el drenado del acuífero vía paleocanal o cualquiera otras que prediga el modelo.

Resulta evidente que este conjunto de medidas más otras complementarias que podrían tomarse, serán siempre una función del grado de contaminación del acuífero y de las predicciones del modelo.

#### 4.2. CALCULO DEL IMPACTO AMBIENTAL RADIOLOGICO.

Las aguas subterráneas hipotéticamente contaminadas, descargarían al embalse de Zorita y este al de Almoguera (figura 3.4.1-1 del Capítulo II). El cálculo de la concentración de actividad en dichos embalses, se realiza adoptando un modelo de mezcla total, a partir de las actividades descargadas al río y del balance de actividades de ambos embalses.

En la figura 4.2-1 se esquematiza dicho balance:



$W_i$  Aporte radiactivo del nucleido  $i$  durante el intervalo

$Q$  Caudal del río (embalse) durante el intervalo

$A_{iw}^1(t)$  Actividad total de isótopo  $i$  en el agua del embalse de Zorita

$V_1$  Volumen del Embalse de Zorita

$\lambda_i$  Cte. De semidesintegración del isótopo  $i$

$A_{iw}^2(t)$  Actividad total de isótopo  $i$  en el agua del embalse de Almoguera

$V_2$  Volumen del Embalse de Almoguera

**Figura 4.2.-1. Balance de actividades para el cálculo de concentraciones en los embalses de Zorita y Almoguera.**

Respecto a las vías de exposición para el cálculo de las dosis en los grupos de población (lactante, niño, joven, adulto), serían las siguientes:

- Contaminación del agua -----→ Ingestión por el hombre: consumo de agua potable.
- Contaminación del agua -----→ Fijación en las cadenas alimentarias acuáticas: consumo de alimentos acuáticos.
- Contaminación del agua -----→ riego -----→ Fijación inmediata en las plantas o en sus raíces o fijación retrasada a través del suelo: Consumo de alimentos vegetales frescos y no frescos contaminados.
- Contaminación del agua -----→ riego -----→ Fijación en las plantas -----→ Ingestión animal por conducto de forrajes o pastos -----→ Ingestión animal por el hombre por conducto de los productos animales: consumo de alimentos animales contaminados.
- Contaminación del agua -----→ acumulación en lodos y arenas, natación, deportes náuticos o pesca -----→ inradiación externa: deporte y recreo.

En el anexo 4.2/V, se esquematiza el modelo de cálculo de las dosis según la metodología de la Regulatory Guide 1.109.



**SIMULACION DE RIESGOS DE  
CONTAMINACION  
QUIMICA Y RADIOQUIMICA  
MEDIANTE EL EMPLEO DE  
SISTEMAS INFORMATICOS:**

APLICACIÓN AL ESTUDIO HIDROLOGICO  
DE LA CENTRAL NUCLEAR JOSE CABRERA



**CAPITULO VI  
REFERENCIAS  
BIBLIOGRAFICAS**





---

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

- "Central Nuclear de Zorita. Proyecto Completo Volumen II. Anejos al Estudio de Emplazamiento". Marzo 1964.
- "Informe sobre los resultados de la investigación geofísica realizada en la C.N.J.C.". Referencia 29-FC-0002, edic. 2, septiembre 94.
- "Caracterización de la excitación sísmica en la C.N.J.C.". Referencia 29-EC-0129, edic. 3, Marzo 94.
- "Geología de la Cuenca del Tajo". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. 1989.
- "Mapa Geológico de España". Memoria Explicativa de la Hoja 561 (21-22) Pastrana. E. 1:50.000 I.T.G.E., Mayo 1991. Sin publicar.
- "Mapa Geológico de España". Hoja geológica 584 (21-23) Mondejar. I.T.G.E. 1975.
- "Mapa Geológico de España". Hoja geológica 46 Cuenca-Guadalajara. E. 1:200.000 Síntesis de la Cartografía existente.
- "Investigación Hidrogeológica de la Cuenca del Tajo". I.T.G.E. 1983.
- "Estudio Geológico del Emplazamiento", Estudio preliminar de Seguridad. Sin Referencias.
- "Estudio Analítico Radiológico". Documento 29-EZ-6320, edic. 2, Mar. 92.
- "Estudio Analítico Radiológico". Documento 29-EZ-6307, edic. 1, Oct. 82.
- "Archivo de Puntos Acuíferos". I.T.G.E.
- "Red de Calidad de las Aguas Subterráneas". I.T.G.E.
- "Evaluación del Input Sísmico a nivel Cuaternario". Referencia 29/EC/00140. Edic. 1, Feb. 94.
- Plan de Vigilancia Radiológica del Medio Ambiente (PVRMA de la Central Nuclear José Cabrera, rev. Junio 1995).
- Informe meteorológico de la C.N. José Cabrera años 89 a 95. Ref. 5/35/1003 a 5/35/1303.
- Lista de Documentos y Planos de Ingeniería. Ref 29-LO-00001, Edic. 56, Jun. 94. Ref. archivo central G-D-02-1-001.

- Archivo de Garantía de Calidad. Vol. Cálculos y Diseño. Ref. archivo E/D-01-01.
- Plan Hidrológico Nacional, Confederación Hidrográfica del Tajo.
- A. Gonzalvo, M.A. Hernando, F.J. Elorza "Desarrollo de un Modelo Hidrogeológico a partir de un Sistema de Información Geográfica". 1998. (X Congreso Internacional de Minería y Metalurgia). Idem 23 Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española (1997).
- Anderson M. P.; Woessner W. W. "Applied Groundwater Modeling". Academic Press Inc. 1991.
- Hartley R. W. Technical Report 85-41. "Release of radionuclides to the geosphere from repository for high level waste-mathematical model, results". NAGRA. 1985.
- Hill M. C. "Five computer programs for testing weighted residuals and calculating linear confidence and prediction intervals on results from the ground-water parameter-estimation computer program MODFLOW". U.S. Geological Service. 1994.
- Bear, J., Verruijt, A. (196-) "Modeling Groundwater flow and Pollution".
- Villanueva, M. Iglesias, A., (196-) "Pozos y Acuíferos". Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo.
- Kinzelbach, W., (1986) "Groundwater modelling: An introduction with samples in BASIC". Elsevier Science Publishers.
- Bear, J., Batchman, Y., (1967) "A generalized theory on hydraulic dispersion in porous media". I.A.S.H. Symp. Artificial Recharge and Management of Aquifers. Haifa. I.A.S.H. 72.
- Cornell, G., (1995) "Manual de Visual Basic 3 para Windows". Serie McGraw-Hill de Informática. Osborne McGraw-Hill.
- Custodio, E., Llamas, M.R., (1983) "Hidrogeología Subterránea". Ediciones Omega. Barcelona.
- Pinder, G.F., Gray, W.G., (1977) "Finite elements simulation in surface and subsurface hydrology". Academic Press New York.
- Conde, C., Winter, G., (1990) "Métodos y algoritmos básicos del álgebra numérica". Colección de Matemática Aplicada e Informática. Editorial Reverté.
- Simó, J.A., PFC (1995) "Estudios de los efectos de la heterogeneidad sobre la modelización del flujo y transporte en aguas subterráneas".
- Volkov, E.A., (1990) "Métodos numéricos". Editorial MIR Moscú.
- Jennings, S., (1977) "Influence of the eigen value spectrum on the convergence rate of the conjugate gradient method". Inst. Maths. Applics., Vol. 20.



**ABRIR TOMO II**

